

**TEST DE MICRONÚCLEOS EN PECES COMO INDICADOR DE
TOXICIDAD EN ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE A ESCALA GLOBAL**

JOSÉ MANUEL RINCÓN RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2015**

**TEST DE MICRONÚCLEOS EN PECES COMO INDICADOR DE
TOXICIDAD EN ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE A ESCALA GLOBAL**

JOSÉ MANUEL RINCÓN RODRÍGUEZ

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ADMINISTRADOR AMBIENTAL**

**Director
ALEJANDRO SOTO DUQUE
Químico
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2015**

Nota de aceptación:

**Aprobado por el Comité de Grado
en cumplimiento de los requisitos
exigidos por la Universidad
Autónoma de Occidente, para
optar al título de Administrador
Ambiental**

Elizabeth Muñoz

Jurado

Martha Lucia Palacios

Jurado

Santiago de Cali, 18 de noviembre de 2015

CONTENIDO

GLOSARIO	8
INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 PREGUNTA PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo General	13
3.2 Objetivos Específicos	13
4. MARCO DE REFERENCIA	14
4.1 MARCO CONCEPTUAL	14
4.1.1 Test de micronucleos	14
4.1.2 Metodología del Test de Micronúcleos	15
4.1.3 Test de micronúcleos en peces	17
4.1.4 Micronúcleos y Test de Micronúcleos	18
4.1.5 Peces como indicadores de calidad de agua	18
4.2 MARCO TEÓRICO	19
4.2.1 En Latinoamérica	19
4.2.1.1 Colombia	19
4.2.1.2 Brasil	23
4.2.1.3 Argentina	26
4.2.1.4 Perú	27
4.2.1.5 Chile	28
4.2.1.6 Uruguay	28
4.2.1.7 Venezuela	29
4.2.1.8 México	30
4.2.2 En Europa	33
4.2.2.1 Italia	33
4.2.2.2 Croacia	35
4.2.2.3 Bélgica	36

4.2.2.4 Portugal	36
4.2.3 En África	37
4.2.3.1 Egipto	37
4.2.3.2 Nigeria	42
4.2.4 En Asia	46
4.2.4.1 India	46
4.2.4.2 Turquía	50
4.2.4.3 China	52
4.2.4.4 Japón	53
4.2.4.5 Bangladesh	54
4.3 ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO	55
 5. METODOLOGÍA	 56
5.1 RECURSOS Y MATERIALES	56
 6. RESULTADOS	 57
Tabla 1. Análisis de estudios de más de una especie	57
Tabla 2. Según el sitio donde se realizó el análisis de MN: Laboratorio o Ecosistema	64
Tabla 3. De acuerdo al tejido analizado y al valor de MN	88
Tabla 4. De acuerdo al nivel trófico de las especies	114
 7. DISCUSIÓN	 147
 8. CONCLUSIONES	 149
 9. RECOMENDACIONES	 150
BIBLIOGRAFÍA	151

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis de estudios de más de una especie	57
Tabla 2. De acuerdo al sitio donde se realizó el análisis de MN: Laboratorio o Ecosistema	64
Tabla 3. De acuerdo al tejido analizado y al valor de MN	88
Tabla 4. De acuerdo al nivel trófico de las especies.	114

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Eritrocitos de sangre periférica en <i>Oreochromis Niloticus</i> (Tilapia)	16

GLOSARIO

MN: Micronúcleos.

AN: Anormalidades nucleares.

EMN: Eritrocitos micronucleados.

ADN: Ácido desoxirribonucleico.

PCB: Bifenilos policlorados

MNT: Micronucleous Test (Test de micronúcleos)

MNC: Celulas micronucleadas.

PHE: Fenantreno.

EPC: Eritrocitos policromáticos

RC/N: Relación citoplasma/nucleo.

ANOVA: Modelo estadístico.

CFCF: Factor de condición.

INTRODUCCIÓN

El test de micronucleos en peces es una técnica utilizada para medir la genotoxicidad en ecosistemas acuáticos, esta resulta ser una herramienta útil para medirla. Para la realización de esta monografía se ha planteado una problemática, la cual está relacionada principalmente con la contaminación acuática que aqueja al planeta y cada vez se está viendo más afectado el recurso hídrico, debido principalmente a actividades industriales y domésticas.

Este trabajo es relevante como aporte al conocimiento científico, pues el agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida en el planeta, y una alteración en este recurso afectaría seriamente la posibilidad de supervivencia de las especies y del ser humano. Este tiene unas funciones las cuales son de vital importancia para conservar la vida en el planeta, por lo cual se hace importante su conservación.

Se realizó una búsqueda bibliográfica en diferentes documentos que han trabajado la temática y con base en esa información se determinó la relevancia del Test de micronucleos en peces como indicador de contaminación acuática. También se realizaron matrices que resumieron la información principal de los documentos encontrados respecto a la temática de estudio. Para la búsqueda de información se utilizaron bases de datos científicas de la Universidad Autónoma de Occidente, como también de la web.

Con base en todo lo investigado en las bases de datos y en la web, se determinó la eficacia del test de micronucleos en peces como indicador de calidad en ecosistemas acuáticos e igualmente se espera aportar al conocimiento científico para que en este campo de la ciencia se pueda tener una visión más amplia de técnicas para identificar niveles de contaminación y adoptar medidas para mitigar la contaminación que pueda estar presente en un determinado sitio o región.¹

¹ Recursos hídricos y contaminación del agua, [en línea] p. 5 [Consultado en Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.bioygeo.info/pdf/06_Recursos_hidricos_y_contaminacion.pdf

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las mayores problemáticas globales en la actualidad tiene que ver con la contaminación acuática, en la cual han influido factores como el crecimiento urbano e industrial, lo cual conlleva a un deterioro en la calidad del agua en diversos sectores del mundo y por ende se puede ver afectada la salud humana e igualmente la disminución en la cantidad de especies acuáticas alrededor del mundo.²

Las actividades industriales generan diferentes clases de residuos, aunque en industrias de países desarrollados normalmente estas cuentan con sistemas efectivos de depuración de las aguas especialmente para contaminantes como los metales tóxicos, en cambio en los países en desarrollo esta problemática de generación de residuos industriales es más grave.

Entre las principales fuentes de contaminación acuática están:

Los vertidos urbanos, los cuales provienen de actividades domésticas y urbanas que generan residuos orgánicos y sustancias diversas provenientes de los alcantarillados, entre los cuales están las emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc., además de las sustancias domésticas.

Las actividades de navegación producen diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos.

Las actividades agrícolas y ganaderas generan vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas, contaminando el recurso hídrico.³

La contaminación acuática genera una serie de efectos sobre la salud humana tales como: infecciones a nivel local en pieles deterioradas, infecciones sistémicas

² SANCHÓN, MV. Salud Pública y AP de Salud: Tema 11, La contaminación del agua [en línea] p.1 [Consultado en Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/salud-publica-y-atencion-primaria-de-salud/otros-recursos-1/lecturas/bloque-iii/Contaminacion%20del%20agua.pdf>].

³ Recursos hídricos y contaminación del agua, [en línea] p.5 [Consultado en Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.bioygeo.info/pdf/06_Recursos_hidricos_y_contaminacion.pdf

en personas con problemas de inmunodepresión, esto debido a ingerir agua la cual es abastecida para grandes poblaciones o por pozos contaminados.

El agua contaminada y los alimentos contaminados por el riego de aguas residuales son un medio de transmisión de infecciones y enfermedades, e igualmente hay insectos que se reproducen en el agua los cuales también pueden transmitirlas a los seres humanos. Entre las principales enfermedades causadas por la contaminación de las aguas están: Cólera, tifus, disentería, gastroenteritis, hepatitis, poliomiелitis, disentería amebiana y esquistosomiasis.

También se generan unos efectos ambientales debido a esta problemática como extinción de peces y demás vida acuática. Los sólidos suspendidos reducen la aptitud de algunos organismos para encontrar alimento, reduce la fotosíntesis hecha por plantas acuáticas, altera las redes alimenticias acuáticas y es un transportador de plaguicidas, bacterias y otras sustancias nocivas.

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas puede afectar actividades productivas, como la agricultura, la ganadería, entre otras actividades que son indispensables para muchas personas que viven de estas, e igualmente la contaminación en lagos y mares puede afectar la actividad pesquera.⁴

Una herramienta que puede aportar a disminuir esta problemática es el Test de Micronúcleos en peces, la cual consiste en tomar muestras de peces de algún ecosistema o sitio específico, luego se somete a una serie de experimentos para lo cual se usan algunas sustancias tóxicas a las cuales se exponen los peces y de esta manera se observa como reacciona cada pez al agente tóxico, entonces se define si el pez es sensible a genotóxicos según la frecuencia de micronúcleos que este presente, a una mayor frecuencia quiere decir que el pez es sensible a agentes genotóxicos y por ende puede ser usado en ecosistemas acuáticos para medir la calidad y estado del agua en un sitio específico y de esta manera poder tomar decisiones más efectivas.

1.1 PREGUNTA PROBLEMA

¿El Test de Micronúcleos en peces es una herramienta útil para monitorear la toxicidad en los ecosistemas acuáticos?

⁴ POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67 [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf.

2. JUSTIFICACIÓN

El Test de micronúcleos en peces es de gran importancia puesto que es un Test mediante el cual se obtiene información fiable y exacta la cual sirve como indicador para evaluar la calidad del agua y con base en ello tomar decisiones acertadas sobre las acciones preventivas y correctivas pertinentes y así contribuir a mejorar la calidad no solo de los ecosistemas acuáticos sino también de todo el ecosistema global. El ensayo de MN es una herramienta que representa una aproximación adecuada e idónea puesto que posibilita recolectar diversas muestras de distintas especies y lugares, sin necesidad de sacrificar a los organismos. La importancia esencial de este Test consiste en que indica el efecto de los contaminantes y posibilita tomar medidas tempranas de manejo, a niveles subletales de agentes tóxicos.

El Test de micronúcleos en peces posee la ventaja de que es una herramienta que proporciona información cuantificable de daño genético, de forma rápida y relativamente sencilla. Puesto que la cuantificación mediante el microscopio de una gran cantidad de células como exige el Test (>1000) implica un gran esfuerzo de observación y exactitud, se han generado programas para analizar imágenes, para cuantificación de MN y se tienen en cuenta las normas y requerimientos estandarizados y validados a nivel internacional por entidades como la EPA. El Test de MN aplicado al monitoreo biológico de contaminantes resulta ser un instrumento de gran utilidad en las investigaciones de mutagénesis ambiental. Puesto que un gran número de análisis físico-químicos son de alto costo, y frecuentemente resultan ser inadecuados para mostrar los efectos macroscópicos individuales, o las modificaciones en las poblaciones y comunidades, los marcadores moleculares de daño son actualmente, de gran importancia.

Para resumir, el Test de micronúcleos en peces es una herramienta que brinda información que no se puede obtener mediante otros métodos, como: El descubrimiento a tiempo de algún riesgo y/o daño en el medio ambiente, detección temprana de las consecuencias de diversos estresores ambientales sobre la salud de los organismos, establecer las relaciones entre las reacciones individuales de los organismos expuestos a la contaminación y las consecuencias a nivel poblacional, elaboración a tiempo de medidas de protección sanitaria y ambiental de la vida humana, controlar la efectividad del trabajo realizado para la biorremediación ambiental, entre otros.⁵

⁵ GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 15 de Septiembre de 2015] Disponible en Internet: <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf>

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Conocer el estado del arte en relación con el Test de Micronúcleos en peces como indicador de la toxicidad en ecosistemas de agua dulce a nivel global.

3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los resultados y tendencias de las diferentes investigaciones sobre el Test de micronúcleos en peces de agua dulce, en distintas partes del mundo.
- Elaborar y analizar matrices con la información encontrada sobre el Test de Micronúcleos en peces de agua dulce.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Test de micronucleos

“La prueba de micronúcleos fue desarrollada por W. Schmid en 1975, quien originalmente la propuso para realizarse en la medula ósea del ratón; posteriormente, la técnica se ha instrumentado en una gran variedad de tejidos y especies, y en la actualidad se le utiliza ampliamente.”⁶

El Test de Micronúcleos es una prueba muy empleada para determinar el daño genotóxico generado por distintas sustancias químicas y elementos físicos. Mediante esta prueba se determina el daño causado por los agentes mutagénicos sobre los cromosomas, identificando fragmentos acéntricos y/o cromosomas rezagados.⁷ Los micronúcleos son masas de cromatina que se parecen al núcleo principal y son vistos como pequeños núcleos en el citoplasma de las células interfásicas. Es una clase de núcleo de menos tamaño, en comparación con el que se encuentra habitualmente. Se puede identificar fácilmente a través de una microscopia de luz en la célula después de sacar la muestra respectiva, previamente preparada y con tinción del frotis, posibilitando observar la cantidad de micronucleos presentes en los eritrocitos y policromáticos.⁸

⁶ ZÚÑIGA, Guillermo y GÓMEZ, Belinda. La prueba de micronúcleos [en línea] En: Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana, Enero – Abril, 2006, Vol. 19, No.1 [consultado el 14 de Agosto de 2014] [disponible en internet:<http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol19num1/articulos/micronucleos/index.htm>],

⁷ MARTÍNEZ, Sergio. El cerdo joven como bioindicador de concentraciones bajas de genotóxicas, mediante la prueba de micronucleos en eritrocitos de sangre periférica [en línea]. Trabajo de grado Doctor en Ciencias básicas. Colima, México: Universidad de Colima. Facultad de Medicina, 2005. p. 21 [consultado el 14 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Dr_Sergio_Martinez_Glz.pdf

⁸ CARRANZA, Liliana Patricia. Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de mototaxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias [en línea]. Trabajo de grado Magister en Toxicología. Bogota D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina, 2011. p. 35 [consultado el 14 de Agosto de 2014]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4324/1/598934.2011.pdf>

Mientras ocurre la división celular, el material genético (ADN) presente en el núcleo celular se replica y divide de forma equitativa generando dos células hijas iguales; este proceso se puede generar por equivocación, ya que pueden haber errores durante la replicación y posterior división del ADN, por roturas cromosómicas y al efecto de la radiación y de sustancias genotóxicas, generándose pérdida de cromosomas también generando una distribución genética inequitativa. Al pasar esto, el material genético que se separa y que por ende, se excluye y no se adhiere de la forma correcta al núcleo de la célula hija, genera un nuevo núcleo más pequeño que el primer núcleo, el cual se le llama micronúcleo (MN), el cual se puede ver sin mayor problema con el microscopio óptico. El material genético que se separa puede proceder de cromosomas enteros o, por lo general, de fragmentos cromosómicos acéntricos que quedan excluidos de los núcleos de las nuevas células durante la anafase mitótica.⁹

4.1.2 Metodología del Test de Micronúcleos

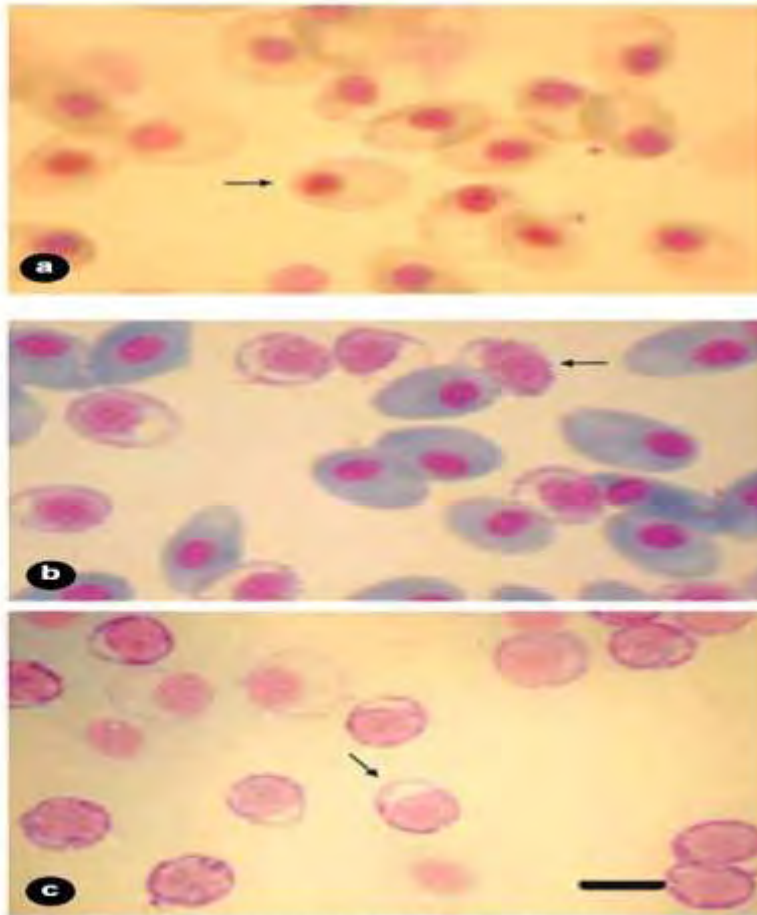
“El método esencial para el recuento de MN en sangre periférica se basa en aislar los linfocitos a través de una centrifugación en gradiente. Se hace el recuento celular y siembra de $0,5 \times 10^6$ células/mL, las cuales se desarrollan en suspensión en medio de cultivo RPMI 1.640 suplementado con suero fetal bovinopenicilina/estreptomicina y confitohemaglutinina y se incuban durante 44 horas en estufa a 37°C y 5% CO₂ para favorecer la proliferación celular.

La muestra inicial también puede ser sangre total, células exfoliadas de la mucosa oral o cualquier otro tipo celular con actividad mitótica con algunas variaciones en el método. Luego de 44 horas, el cultivo de células, se sujeta a la acción de la citocalasina-B. Cuando se bloquea la mitosis y aproximadamente 72 horas después de la siembra (28 horas tras el bloqueo) se realiza el cosechado de células, el cual se hace sometiendo a las células a un choque hipotónico beneficiando que los citoplasmas se inflamen debido a un proceso de osmosis en el cual la concentración de iones del medio es menor que la que la del interior de la célula. Se fijan las células con una solución fresca de metanol: ácido acético glacial (6:1 ó 24:1), se tiñen las preparaciones con Giemsa durante 5 a 10 min y se visualizan al microscopio óptico. El recuento de MN se debe realizar sobre 1.000 células binucleadas por cultivo e individuo.”¹⁰

⁹ ZALACAIN, M.; SIERRASESÚMAGA, L. y PATIÑO, A. El ensayo de micronúcleos como medida de inestabilidad genética inducida por agentes genotóxicos [en línea] En: Anales Sis San Navarra, mayo-agosto, 2005, vol. 28, no. 2 p. 229 [consultado el 14 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272005000300007

¹⁰ ZALACAIN, M.; SIERRASESÚMAGA, L. y PATIÑO, A. El ensayo de micronúcleos como medida de inestabilidad genética inducida por agentes genotóxicos, [en línea] En: Anales Sis San Navarra mayo-agosto, 2005 v.28 no. 2 p. 229-232 [consultado el 14 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v28n2/revision2.pdf>],

Figura 1. Eritrocitos de sangre periférica en *Oreochromis Niloticus* (Tilapia)



A los siete días de exposición se observa un aumento de células redondeadas de tamaño parecido a la de los eritrocitos y con núcleos excéntricos en sangre periférica de *Oreochromis Niloticus* (Tilapia)

Figura 3. Eritrocitos de sangre periférica de *Oreochromis niloticus* a) células antes de la exposición al dicromato de potasio. b y c) Células después de siete días de tratamiento con dicromato de potasio. Coloración Giemsa 5%. Barra 10 μ m.

Fuente: PRIETO, Zulita. et.al. Efecto genotóxico del dicromato de potasio en eritrocitos de sangre periférica de *oreochromis niloticus* (tilapia), [en línea] En: Rev Peru Med Exp Salud Publica, 2008, Vol 25, No.1, p.51-58 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: [http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFECTO_GENOTxICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_\(TILAPIA\)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83lsATLgIH_Cw&ved=0CDoQFjAH&usq=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ](http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFECTO_GENOTxICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_(TILAPIA)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83lsATLgIH_Cw&ved=0CDoQFjAH&usq=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ)

4.1.3 Test de micronúcleos en peces

El Test de micronucleos posibilita estudiar la frecuencia de micronucleos (MN), en sangre periférica de roedores, después esta técnica fue adaptada por Hooftman&Raaij (1982) para trabajar con peces en laboratorio. Existe un gran número de estudios realizados empleando el Test de micronucleos para conocer las consecuencias de la exposición permanente a sustancias químicas mutagénicas y cancerígenas en peces. Esta metodología puede ser igualmente empleada de forma directa en ecosistemas, como un bioindicador de contaminación en peces, donde es posible determinar los efectos mutagénicos de sustancias como, mercurio, nitrito, arsénico y otros agentes clastogénicos. Con el Test de micronucleos, se logra información exacta y fiable, ya que es posible recoger varias muestras de distintas especies y lugares. Los MN se pueden localizar sin mayor dificultad mediante un microscopio óptico o de fluorescencia, para lo cual se tiñe el ADN con sustancias que dejan identificar cual es el material genético y cuáles son las estructuras celulares. Esta técnica tiene la ventaja de que genera indicadores cuantificables, de daño genético, de forma fácil y rápida.

El empleo del Test de micronucleos en peces brinda información variada y única, la cual no se puede obtener mediante otras técnicas. Mediante este Test, se detecta rápidamente el riesgo y/o daño ambiental, también detecta las consecuencias de tóxicos ambientales en la salud de organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas, por otra parte también brinda información en cuanto a las relaciones entre las reacciones de cada individuo expuesto a la contaminación y los efectos poblacionales, también es posible generar medidas tempranas de protección ambiental y sanitaria de la vida silvestre y humana e igualmente sirve para controlar la efectividad de los esfuerzos de biorremediación ambiental.¹¹

“El ensayo de micronúcleos (MN) en células sanguíneas de peces ha mostrado ser una técnica útil para evaluar genotoxicidad *in vivo* y para biomonitorizar *in situ* la calidad de aguas en ecosistemas continentales.”¹²

¹¹ GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf>

¹² PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (*Prochilodus magdalenae* Y *Oreochromis* sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba2003v25n79art2.pdf>

“Los peces son considerados organismos bioindicadores, ya que estos abarcan gran cantidad de eslabones de la cadena alimenticia, estos pueden acumular sustancias tóxicas y responden de forma fácil a cantidades idóneas bajas porque cubren muchos eslabones de la cadena alimenticia, son capaces de acumular sustancias tóxicas y reaccionan fácilmente a bajas concentraciones de elementos mutagénicos. También, los peces de agua dulce tienen una mayor cantidad de sangre que los de agua salada, lo cual hace que estos sean de gran utilidad en experimentos toxicológicos, en el momento en que se trabaja con células sanguíneas con propósitos de monitoreo.”¹³

4.1.4 Micronúcleos y Test de Micronúcleos

“Los micronúcleos (MN) son corpúsculos citoplasmáticos esféricos, detectados en interfase, más pequeños y con las mismas características morfológicas que el núcleo celular; se originan por pérdida de fragmentos cromosómicos o cromosomas enteros durante la división nuclear y tienen valor en el diagnóstico de genotoxicidad.”

La prueba de micronúcleos está validada internacionalmente como bioensayo para evaluar genotoxicidad de sustancias, exposiciones agudas y crónicas, y es una de las más usadas para identificar agentes cancerígenos.¹⁴

4.1.5 Peces como indicadores de calidad de agua

Los peces se han usado como indicadores de la calidad del agua en gran cantidad de países desde hace tiempo. Los peces son el grupo más diverso entre los vertebrados, sin embargo, muchas especies de agua dulce se encuentran amenazadas por las actividades humanas. Las comunidades de peces son consideradas como un vector de comunicación útil para sensibilizar al público y a las autoridades sobre la necesidad preservar la calidad de ríos y lagos.¹⁵

¹³ TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf>,

¹⁴ CASTILLO, Erika; GUEVARA, Maria Luisa y FUJITA, Ricardo. Optimización del test de micronúcleos en linfocitos cultivados usando una metodología de gradiente y frotis, [en línea] En: Rev. peru. biol. Agosto, 2011, Vol 18, No. 2, p. 261 - 263 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologia/v18n2/pdf/a22v18n2.pdf>,

¹⁵ AGUILAR, Alonso. Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua, [en línea] En: Revista Digital Universitaria, 10 de Agosto, 2015, Volumen 6, No. 8, p. 1-14 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art78/ago_art78.pdf,

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 En Latinoamérica

4.2.1.1 Colombia

En Colombia, se destaca el aporte de: CORREDOR, Wilson. et al. en su documento: **Inducción de micronúcleos y otras anormalidades nucleares en *Astyanax gr. Bimaculatus* (Pisces: Characidae) expuestas a fenantreno**, indica que el fenantreno es un hidrocarburo policíclico aromático (HPA) ligado a la actividad petrolera, altamente lipofílico, con una gran distribución y tiene la característica de permanecer en el ambiente durante largos periodos de tiempo. Pese a su impacto, el efecto de los HPA no se ha investigado a profundidad en peces tropicales; entonces, el fin de esta investigación fue determinar la presencia de micronúcleos y otras anormalidades nucleares en eritrocitos de sangre periférica de *Astyanax gr. Bimaculatus* expuestas a fenantreno. Los peces (n=9) fueron inyectados intraperitonealmente con 0.1, 1 y 10 µg/g de PV de fenantreno (PHE, Sigma Aldrich, pureza 98%) disuelto en aceite vegetal, un control positivo inyectados con ciclofosfamida y un control negativo con aceite vegetal. Se recogieron muestras de sangre periférica a las 0 y 96 horas de la inyección. A las 96 horas, las dosis más altas de fenantreno generaron efectos genotóxicos en los eritrocitos de *Astyanax gr. bimaculatus*, debido a la formación de micronúcleos y alteraciones morfológicas nucleares. Los resultados de este estudio recomiendan que *Astyanax gr. bimaculatus*, especie íctica dulceacuícola nativa, tiene gran potencial para emplearse como un bioindicador de genotoxicidad generada por hidrocarburos policíclicos aromáticos.

Desde el momento en que se realizaron las muestras de sangre se llevaron a cabo dos frotis sanguíneos por cada organismo para definir la frecuencia de MN y de alteraciones nucleares. Los extendidos sanguíneos se tiñeron por 10 min con colorante de Wright-Metanol (Merck®) previamente filtrado (Papel de filtro 3 µm, Whatman®). El índice PI que se obtuvo a partir de comparar el índice MNC% y su respectivo control, se determinó que hay una mayor variación entre los grupos expuestos a 10 y 0.1 µg/g PV de PHE (Fenantreno) frente al control negativo, encontrando un índice de PI entre 3.24 y 3.97, el cual se fue incrementando en la medida al aumentar la concentración de fenantreno. El fenantreno en dosis subletales es un agente que induce genotoxicidad y citotoxicidad sobre los eritrocitos de sangre periférica de *Astyanax gr. bimaculatus*. Los resultados hacen recomendar que la presencia de este hidrocarburo aromático policíclico en bajas dosis, es capaz de generar aberraciones cromosómicas y daños citotóxicos en peces que estén a exposición de estas concentraciones.¹⁶

¹⁶ CORREDOR, Wilson. et al. Inducción de micronúcleos y otras anormalidades nucleares en *Astyanax gr. Bimaculatus* (Pisces: Characidae) expuestas a fenantreno, [en línea] En: ORINOQUIA SUPLEMENTO - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia, 2012, Vol. 16 – No. 2, p. 237-247 [consultado el 12 de Agosto de 2014] disponible en internet: http://www.researchgate.net/publication/262463623_Induction_of_micronuclei_and_other_nuclear_abnormalities_in_Astyanax_gr._bimaculatus_%28Pisces_Characidae%29_exposed_to_phenanthrene

También en Colombia, se destaca el trabajo de PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. en su investigación sobre: **GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (*Prochilodus magdalenae* Y *Oreochromis* sp.)**: El ensayo de micronúcleos (MN) en células sanguíneas de peces ha evidenciado ser una herramienta útil para determinar genotoxicidad *in vivo* y para biomonitorizar in situ la calidad de aguas en ecosistemas continentales. A través del test de MN se determinó la genotoxicidad del cloruro de mercurio (HgCl₂) bajo condiciones controladas en dos especies ícticas, (una nativa y otra introducida a Colombia), *Prochilodus magdalenae* (bocachico) y *Oreochromis* sp. (Tilapia), respectivamente. Tres lotes de veinte ejemplares de cada especie fueron expuestos a tres concentraciones subletales de HgCl₂ (0.001, 0.003, 0.027 mg/l) durante siete días, junto con un lote control sin exposición. Todos los días se reemplazó el agua y se reajustó la concentración de la sal mercurial. Se recolectaron muestras de ambas branquias en dos especímenes de cada lote y en ellas se contó el promedio de MN/1.000 eritrocitos. Los resultados evidenciaron un claro efecto a la dosis y al tiempo de exposición ($p < 0.05$ a $p < 0.0001$). También indicaron que la especie nativa (bocachico) tuvo más sensibilidad que la especie introducida (tilapia) a este genotóxico. Se sugiere usar a *Prochilodus magdalenae* (bocachico) como especie centinela potencial para el biomonitoreo genotóxico de contaminantes ambientales acuáticos, especialmente en cuencas donde habita esta especie o donde predomina este tipo de contaminación.

La frecuencia de micronúcleos se estableció con base en 1.000 células por cada tejido del pez. En las dos especies se aprecia que el aumento de MN (Micronúcleos) inducido por las dosis más bajas tiene tendencia a ser constante o incrementar, en cambio con la dosis más alta se incrementan los MN en bocachico y se reducen en tilapia con el tiempo.

Prochilodus magdalenae (bocachico) es una especie nativa que no ha sido intervenida genéticamente, en cambio la tilapia es un híbrido manipulado. Esto puede causar diferencias. Los resultados señalan que el bocachico presenta mayor sensibilidad que la tilapia a la sal de mercurio, lo cual se basa en distintos mecanismos en las formas de detoxificación y reparación a los efectos genotóxicos de metales pesados.¹⁷

¹⁷ PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (*Prochilodus magdalenae* Y *Oreochromis* sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111, [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba2003v25n79art2.pdf>

Igualmente en Colombia se destaca el trabajo de: SALCEDO, Alejandra, et al. en su investigación sobre: **Plaguicidas en el río Bogotá: efecto en el pez capitán y en la población que lo consume**, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto del vertimiento de plaguicidas en la cuenca alta del río Bogotá (Municipio de Suesca), sobre la fauna íctica (Pez capitán de la sabana, *Eremophilus mutisii*) y sobre la población que a lo largo del tiempo se ha alimentado de esta especie de pez.

Los peces fueron recolectados con anzuelo por la mañana, estabulados en tanques de 50 litros de capacidad, registrados y separados de forma correcta con agua que proviene del mismo medio de donde se recolectaron. Se realizarán muestras de branquias, cerebro, gónadas, hígado y músculo, los cuales se separaran entre dos sitios para analizar los plaguicidas.

Se espera con esta investigación aportar información que aporte conocimientos de la caracterización de la problemática del uso de plaguicidas en la cuenca alta del río Bogotá. También se espera fortalecer las relaciones en torno a la investigación por parte de los entes académicos, las instituciones oficiales y las organizaciones particulares que tratan de participar en la problemática medio ambiental de la actualidad

También se usará la evidencia del efecto de plaguicidas que se obtenga en el estudio, para motivar, a las personas participantes en este las que accedan a esta información, a que se integren al programa de control del vertimiento de plaguicidas en la cuenca alta del río Bogotá.¹⁸

También en Colombia, está el aporte de: CÁCERES, Paolín; TELLO, Ángela y TORRES Gerardo. en su investigación sobre: **USO DE BIOMARCADORES GENOTÓXICOS E HISTOPATOLÓGICOS PARA EVALUAR EL EFECTO DE LOS METALES EN LA TILAPIA (*Oreochromis niloticus* L. L.) PRESENTE EN LA LAGUNA DE SONSO (VALLE DEL CAUCA)**, indica que para determinar el efecto de la exposición a metales (cromo, plomo, mercurio) fueron empleados biomarcadores histopatológicos y genotóxicos en Tilapia (*Oreochromis niloticus* L. L.) en la Reserva Natural Laguna de Sonso, Valle del Cauca. Para lo cual se hicieron dos muestreos de organismos expuestos en la Laguna de Sonso y dos en el río Patía (testigo), en épocas de precipitación y de sequía (36 peces).

¹⁸ SALCEDO, Alejandra, et al. Plaguicidas en el río Bogotá: efecto en el pez capitán y en la población que lo consume, [en línea]. Bogotá D.C: Fundación al verde vivo, Universidad del Rosario, Instituto Nacional de Salud, Universidad Nacional de Colombia, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: <http://alverdevivo.org/SitioAntiguo/Documentos/PROYECTO%20PESTICIDAS%20PEZ%20CAPITAN.pdf>

Se realizaron dos jornadas para tomar muestras de *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo) empleando redes de arrastre, según las condiciones estacionales. Los peces fueron sacrificados y se les tomaron biopsias de páncreas y branquias, y estas fueron procesadas para las técnicas de Microscopia de luz (tinción con Hematoxilina - Eosina), Microscopía Óptica de Alta Resolución (MOAR) y pruebas citogenéticas.

Se registraron frecuencias de MN / 2000 células. En la Laguna de Sonso: 4.78% y en el Río Patia: 0.15%, para un total de: 3.11%. Los biomarcadores que se emplearon en esta investigación (Genotóxicos e Histopatológicos) dieron resultados significativos, y se demostró también que una investigación es más precisa cuando se emplea más de un biomarcador. En relación con los resultados químicos, evidencian de forma general que no sobrepasan los límites impuestos para esta especie, sin embargo, se cuenta con información la cual indica que, aun en bajas concentraciones los metales pueden ser tóxicos y nocivos.¹⁹

Igualmente en Colombia, PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. en su estudio sobre: **Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia**, afirma que el estrés genotóxico presente en ocho especies ícticas en dos ambientes lénticos tropicales de Colombia [Cachimbero (Santander) y Ayapel (Córdoba) llanuras aluviales lagos] fue evaluado a través del test de micronúcleos. Luego de coleccionar e identificar las muestras, se midieron aspectos morfométricos, y una muestra de sangre por punción de la vena cardíaca o caudal. Muestras de sangre se tiñeron con Giemsa y se contó la frecuencia de micronúcleos en 2000 células por individuo. Fueron estudiadas un total de 11 especies, 128 individuos, y 256.000 eritrocitos. Se calculó el factor de condición para cada individuo coleccionado y un análisis de K-W fue realizado para poder comparar el número de MN entre las diferentes especies en los sistemas lénticos que fueron objeto de estudio. La frecuencia media de micronúcleos fluctuó entre 1,41 para *T. insignis* y 3,75 para *C. magdalenae*. La cantidad máxima de micronúcleos hallada para *Ctenolucius* fue de (7 nmnm) y para *Cyphocharax magdalenae* fue de (10,5). Se concluye que el Test de MN es una forma efectiva para identificar la presencia de xenobióticos en los ambientes acuáticos y que tanto especies sensibles como no sensibles se deben incluir como centinelas en las investigaciones de biomonitorio en Colombia.²⁰

¹⁹ CÁCERES, Paolín; TELLO, Ángela y TORRES Gerardo. Uso de biomarcadores genotóxicos e histopatológicos para evaluar el efecto de los metales en la tilapia (*Oreochromis niloticus* L. I.) presente en la laguna de sonso (valle del cauca), [en línea] En: Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.), 2010, Vol 22, p. 109-121 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: [http://www.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/download/revistas/2010\(2\)/art9.pdf](http://www.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/download/revistas/2010(2)/art9.pdf)

²⁰ PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. : Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia, [en línea] En: Actual Biol, 2009, Vol 31, No. 90, p. 67-77, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n90/v31n90a6.pdf>],

4.2.1.2 Brasil

En Brasil: MATSUMOTO, Silvia. et.al. en su investigación sobre: **Genotoxicidad y Mutagénesis de agua contaminada con efluentes de curtiembres, según lo evaluado en el Test de micronúcleos y en el ensayo cometa utilizando el pez *Oreochromis niloticus* y las aberraciones cromosómicas en la raíz de cebolla**: La citotoxicidad de los metales es de importancia porque algunos metales son mutagénicos potenciales, los cuales pueden generar tumores en las personas y en los animales. El cromo puede destruir el ADN de varias maneras, incluyendo el ADN de doble filamento el cual se rompe dando lugar a aberraciones cromosómicas, formación de micronúcleos, intercambio de cromátidas hermanas, la formación de Aductos de ADN y alteraciones en la replicación del ADN y la transcripción. En esta investigación, las muestras de agua de tres sitios en la Corriente Córrego dos Bagres en el municipio Franca del estado brasileño de São Paulo fueron sometidas a la prueba del cometa y de micronúcleos empleando eritrocitos de *Oreochromis niloticus*.

Para el Test de micronúcleos se obtuvieron muestras de sangre de la especie *O. niloticus*. Se realizaron mediante punción de la cola empleando jeringas heparinizadas. El material fue fijado en metanol absoluto por 10 min y fueron teñidos con Giemsa al 5% por 20 min. La cantidad de eritrocitos normales sin micronúcleos y el número de las células dañadas con micronúcleos se determinaron mediante análisis de 2000 células por pez.

El Test de micronúcleos *O. niloticus* y el ensayo cometa evidenciaron que el agua recolectada en los tres sitios en la Corriente Córrego dos Brages fue significativamente genotóxica en comparación con el agua de mejor calidad empleando un control negativo.

El test de micronúcleos y las anomalías nucleares encontradas evidenciaron que el agua de los sitios aguas arriba y aguas abajo fueron menos genotóxicas que el agua del sitio de descarga del efluente ²¹

También en Brasil, está el aporte de: PORTO, Jorge; ARAUJO, Cleusa y FELDEBERG, Eliana. en su estudio sobre: **Efectos mutagénicos de la contaminación por mercurio según lo revelado por el Test de micronúcleos en tres especies de peces amazónicos**, en el que afirma que el efecto genotóxico de la contaminación por mercurio sobre las especies de peces

²¹ MATSUMOTO, Silvia. et.al. Genotoxicity y Mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2006, Vol 29, No.1, p.148-158 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.scielo.br/pdf/gmb/v29n1/28185.pdf>

amazónicos, se determinó a través de la prueba de micronúcleos (MNT). Se evidenciaron diferentes frecuencias medias de micronúcleos (MN) en tres especies de peces *characin* colectadas de diferentes maneras en dos sitios de la cuenca del Amazonas: el Madeira (área contaminada) y el ES Solimo (área no contaminada). Las frecuencias medias de MN que se evidenciaron en *Prochilodus nigricans* (detritívoros), *Mylossoma duriventris* (omnívoros) y *Hoplias malabaricus* (piscívoros) del Río Madeira fueron significativamente mayores en comparación con las frecuencias de la misma especie del río Solimo. Además, las frecuencias medias de MN de especies piscívoras eran casi cinco veces más alta que las del detritívoro y/o especies omnívoras. Se concluye que el MNT en los eritrocitos de peces puede ser útil para indicar genotoxicidad de mercurio en los ríos amazónicos

Las muestras de sangre fueron extraídas a través de punción de la vena cauda, empleando una jeringa heparinizada. Los dos portaobjetos de vidrio limpios fueron untados de sangre inmediatamente, se dejaron secar al aire, y después fueron fijados en etanol absoluto por 20 minutos o en absoluto metanol durante 10 min., se recolectó sangre de 55 peces. En el laboratorio, cada muestra fue teñida con solución Giemsa al 5% por 10 min. Los MN (micronúcleos) fueron identificados y se registraron por microscopio menos de 100 MN. En un microscopio Olympus, se registraron cinco mil eritrocitos por cada espécimen.

Las Frecuencias de MN se incrementaron cerca de cuatro veces en *P. nigricans* y *M. duriventris* y aproximadamente 30 veces en *H. malabaricus* en el Madeira. En relación a los puntos de muestreo arrojaron diferencias significativas en las tres especies.

Se evidenció respuesta nuclear eritrocítica a la contaminación por mercurio en la población de peces del río Madeira durante la era de la “fiebre del oro” (minería de oro). El efecto de la contaminación por mercurio se puede estudiar empleando el Test de micronúcleos, demostrando su eficacia para indicar genotoxicidad en los ríos del amazonas ²²

En Brasil cabe destacar el aporte de: MATSUMOTO, F.E y CÓLUS, I.M.S. en su estudio sobre: **Frecuencias de micronúcleos en *Astyanax bimaculatus* (Characidae) tratado con ciclofosfamida o sulfato de vinblastina**, indica que se utilizaron dos fármacos mutagénicos conocidos, ciclofosfamida y el sulfato de vinblastina, fueron evaluados a través el Test de micronúcleos en especies nativas de ***Astyanax bimaculatus* (Characidae)**, para poder concluir cuál de estos fármacos y la dosis sería la ideal para emplear como control positivo

²² PORTO, Jorge; ARAUJO, Cleusa y FELDEBERG, Eliana. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species, [en línea] En: Environmental Research, Marzo, 2005, Vol 97, No. 3, p.287-292 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://www.albuw.ait.ac.th/group_r/mercury/report-3/pdf_link/mutagenic_effect.pdf

en la especie mencionada. Esta especie de pez de Brasil ha sido seleccionada puesto que pocos estudios de toxicidad han empleado especies de peces nativos y esta especie especialmente es muy consumida en muchas regiones de Brasil. Tres mil eritrocitos por espécimen fueron anotados. Las dosis de 16 y 8 mg / kg de peso corporal de la ciclofosfamida y el sulfato de vinblastina, respectivamente, han sido las mas eficientes en el caso de los micronúcleos. Ciclofosfamida fue el que mostró más efectos mutagénicos de los dos fármacos y se sugiere emplearlo como control positivo en *A. bimaculatus*.

La cantidad de células evaluadas fue distinta para cada grupo de los especímenes tratados con fármacos mutagénicos ya que algunos peces murieron dentro de las 24 h después de la inyección. No se presentaron diferencias significativas en la frecuencia de MN entre las diferentes dosis de sulfato de vinblastina utilizadas. No obstante, las frecuencias de MN con todas las dosis fueron significativamente mayor que en el grupo control.

Los métodos citogenéticos los más sensibles son medios eficientes para detectar los efectos de genotóxicos el test de MN ha sido empleado con éxito como un ensayo de mutagenicidad puesto que es simple, confiable, sensible, y no depende mucho de las características del cariotipo.²³

En Brasil, SARTINI, Vania María, et al. en su investigación sobre: **Evaluación in situ del agua del río paraguay en el pantanal brasileño por medio del Test de micronúcleos con peces y su análisis químico**, indica que: el objetivo de esta investigación fue analizar la calidad del agua en un sitio específico del río Paraguay en el Pantanal Brasileño, utilizando el test de micronúcleos con peces, y análisis fisicoquímico de sedimentos. Se presentó un incremento significativo ($p [0,05]$) en la frecuencia de micronúcleos (MN) y células micronucleadas (MNC) que se generaron en los eritrocitos de los *Maculatus pimelodus* y *Leporinus friderici* en las dos localidades del río de la ciudad de Cáceres en relación a aguas arriba del sitio. Los resultados evidenciaron que el agua del Río Paraguay cerca de Cáceres ha recibido efluentes genotóxicos, lo cual es posible que este relacionado con la presencia de cromo, sulfuros, aceites y grasas, y / u otros productos químicos.

En este estudio, se observaron diferencias importantes en la frecuencia MNC y MN en *P. maculatus* al hacer comparación de las estaciones lluviosa y seca, las frecuencias más altas fueron encontradas durante estas últimas. Dichos resultados se pueden explicar por los resultados de cavas y Ergene-Go"zu" kara (2005a), quien analizó que las frecuencias de micronúcleos en los peces fueron más altas en las estaciones más cálidas, especialmente en verano. Por ende, la

²³ MATSUMOTO, F.E y CÓLUS, I.M.S. Micronucleus frequencies in *Astyanax bimaculatus* (Characidae) treated with cyclophosphamide or vinblastine sulfate, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2000, Vol 23, No. 2, p.489-492 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: <http://www.scielo.br/pdf/gmb/v23n2/2772.pdf>

fluctuación de la temperatura que se ve en esta investigación aportó al incremento de la frecuencia de MN.

Se llegó a la conclusión de que el agua del tramo del río Paraguay estudiado se encuentra como receptor de efluentes genotóxicos.²⁴

4.2.1.3 Argentina

En Argentina POLLO, Favio. et.al. en su artículo: **Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anormalidades nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas**, en el que se afirma que los ecosistemas acuáticos colindantes con las áreas urbanas frecuentemente se están viendo afectados debido a factores de origen antrópico, lo cual ha implicado un riesgo para la fauna existente en el sitio, especialmente para los peces. Aquellas afectaciones se pueden biomonitorizar utilizando técnicas como el Test de Micronúcleos (Mn) y el de Anormalidades nucleares (AN), entre otros. Este trabajo tuvo como objetivo verificar y comparar la frecuencia de micronúcleos y anormalidades nucleares en tres especies ícticas colectadas en un lago urbano: *Cyprinus carpio*, *Astyanax eigenmanniorum* y *Cheirodon interruptus*.

Se recolectaron tres especies de peces, fueron anestesiados en agua con metomidato 5mg/l, después, fijadas las muestras con metanol durante 20 minutos, se enjuagaron con agua destilada y se dejó secar, para terminar fue teñido con Giemsa al 10% por 25 minutos

Se evidenció que los valores de eritrocitos micronucleados no señalaron diferencias significativas entre las especies ícticas ($P > 0,05$). Todas las especies que se evaluaron evidenciaron formación de Mn y AN, viéndose la frecuencia más alta en *A. eigenmanniorum* y la más baja en *C. carpio*. La frecuencia de Mn, presentaron una baja frecuencia de aparición muy en las especies evaluadas.²⁵

²⁴ SARTINI, Vania María, et.al. In situ assessment of the Paraguay River Water, in Brazilian Pantanal, by means of Micronucleus Assay with Fish and chemical analysis, [en línea] En: Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Abril, 2013, Vol 90, No. 4, p.427-433 [Consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=da2cd672-24ed-4cc5-83ce-d3182de6882e%40sessionmgr4005&vid=1&hid=4113>

²⁵ POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anormalidades nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67, [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf.

4.2.1.4 Perú

En el Perú, otro aporte que vale la pena resaltar es el de: PRIETO, Zulita. et.al. en su trabajo sobre: **EFFECTO GENOTÓXICO DEL DICROMATO DE POTASIO EN ERITROCITOS DE SANGRE PERIFÉRICA DE *Oreochromis niloticus* (TILAPIA)**, en el que dice que hay muchas evidencias del efecto genotóxico y cancerígeno del cromo VI, y los seres humanos estamos constantemente expuestos a este elemento. El fin de esta investigación fue comprobar la genotoxicidad del dicromato de potasio empleando como sistema biológico a *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo), a través del *test* de micronúcleos y la cuantificación de anomalías nucleares, en eritrocitos de sangre periférica. La metodología de esta investigación consistió en que los individuos se expusieron a concentraciones crecientes (0,0, 0,2, 0,4 y 0,8 ppm) de dicromato de potasio. Se recolectaron muestras de sangre periférica, del arco branquial de cada individuo (cuatro por grupo), a los tres y siete días de tratamiento, luego estas se procesaron y se colorearon con Giemsa 5% y se cuantificaron eritrocitos con micronúcleos y *nuclear buds* en sangre periférica. De esta investigación realizada se pudo evidenciar un aumento significativo de las frecuencias de micronúcleos y *nuclear buds* directamente proporcional a la concentración del dicromato de potasio en los individuos.

Se llevó a cabo la cuantificación de 2000 eritrocitos por individuo empleando un microscopio óptico a 1000X de magnificación. Los criterios para identificar los micronúcleos (MN) fueron: estructura redondeada de tamaño pequeño, diámetro muy inferior al núcleo principal, con coloración parecida, y clara separación del núcleo principal y los eritrocitos con brotes o micronúcleos con una conexión cromatinica al núcleo celular fueron clasificados como *nuclear buds* (brotes nucleares). Las frecuencias de las células con micronúcleos y *nuclear buds* se incrementaron respecto al control, siendo significativa la diferencia entre el tratamiento con respecto al control, a los tres días de exposición al dicromato de potasio. Se descubrió el aumento de las frecuencias de micronúcleos y *nuclear buds* dependiendo de la dosis de dicromato de potasio.

La Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar en Porcentaje en mil. (‰) fue de 1,43 ‰ \pm 0,45/ 2000 células. Las frecuencias de las células con micronúcleos y *nuclear Buds* (Brotes nucleares) aumentaron con respecto al control, siendo significativa la diferencia entre el tratamiento con respecto al control, a los tres días de exposición al dicromato de potasio. Se concluyó el incremento de las frecuencias de micronúcleos y *nuclear buds* según la dosis de dicromato de potasio.²⁶

²⁶ PRIETO, Zulita. et.al. Efecto genotóxico del dicromato de potasio en eritrocitos de sangre periférica de *oreochromis niloticus* (tilapia), [en línea] En: Rev Peru Med Exp Salud Publica, 2008, Vol 25, No.1, p.51-58 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: [http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFFECTO_GENOTxICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_\(TILAPIA\)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83IsATLgIH4Cw&ved=0CDQFjAH&usg=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ](http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFFECTO_GENOTxICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_(TILAPIA)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83IsATLgIH4Cw&ved=0CDQFjAH&usg=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ)

4.2.1.5 Chile

Por otra parte, en Chile, se destaca el aporte teórico y conceptual del CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA CHILE. PROGRAMA DE MONITOREO ECOTOXICOLÓGICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES EN EL RIO CRUCES, PROVINCIA DE VALDIVIA CHILE en cuanto al test de micronúcleos en un tipo de pez: **Informe final proyecto: programa de monitoreo ecotoxicológico de los efluentes industriales en el río cruces, provincia de valdivia chile capítulo 4. Evaluación ecotoxicológica mediante el uso de biomarcadores, Test del Micronúcleo (MN) en frotis de sangre periférica de *O. mykiss***: La sangre para los frotis fue obtenida de la vena de la aleta caudal de los individuos estudiados. Después de que fueron fijados los portaobjetos en etanol absoluto por 20 min., éstos fueron secados al aire libre. Por último, los portaobjetos se tiñen con solución Giemsa al 10% por 25 min. Para la cuantificación de MN, los portaobjetos se codificaron y el recuento se realizó en ciego. En cada portaobjeto se contaron 1000 células eritrocitarias por animal y así después se calcula la frecuencia de células micronucleadas en 1000 células. Puesto que los eritrocitos de peces son nucleados, en cada portaobjeto, en este caso, se cuenta el número de MN presentes en 2000 células eritrocitarias por animal (análisis por duplicado). Solamente las células bien individualizadas, con núcleos y membranas citoplasmáticas bien definidas se contabilizaron (Mershet al., 1996; Rodríguez-Cea et al., 2003).

En el test de micronúcleos no se evidenció un aumento en la frecuencia de micronúcleos en eritrocitos nucleados provenientes de las 7 estaciones del río Cruces.²⁷

4.2.1.6 Uruguay

En Uruguay se destaca el aporte de GUTIÉRREZ, Juan Manuel. en su estudio sobre: **Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya**: La contaminación de los ecosistemas acuáticos genera pérdida de biodiversidad y riqueza de especies. Es necesario estudiar y determinar el impacto de las actividades antrópicas sobre los organismos y sus ecosistemas, lo cual hace necesario la posibilidad de emplear bioindicadores. En estos organismos centinela es posible estudiar las variaciones generadas por contaminación proveniente de actividades urbanas, agrícolas o industriales. En este contexto el objetivo de este trabajo fue valorar el nivel de daño genético de cuatro especies de peces (*Micropogonias furnieri*, *Paralichthys orbignyanus*, *Mugil platanus* y *Odontesthes argentinensis*), en tres estuarios (Pando, Solís chico y

²⁷ CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA CHILE. PROGRAMA DE MONITOREO ECOTOXICOLÓGICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES EN EL RIO CRUCES, PROVINCIA DE VALDIVIA CHILE. [en línea] Valdivia: Universidad de Concepción, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.sinia.cl/1292/articles-35166_Cap4.pdf

Solís grande), del departamento de Canelones, Uruguay empleando el ensayo de micronucleos (MN) en eritrocitos periféricos, durante un año.

Conocer la calidad ambiental de estos tres estuarios, fue muy importante, puesto que muchas especies de peces, emplean los estuarios mencionados como área de cría. Los resultados de este trabajo mostraron diferencias en los niveles de daño genético en los tres estuarios. El estuario Pando presentó los mayores niveles de daño genético en todas las especies.

Se cuantificaron 2000 células por frotis, evaluando dos por cada ejemplar y se contabilizó la cantidad de eritrocitos con MN (EMN) y el número total de MN hallados en esas 2000 células. Se estimó el porcentaje de EMN (eritrocitos micronucleados/eritrocitos totales x 100) y de MN totales (micronucleos totales/eritrocitos totales x 100).

Los valores de EMN y MN totales presentaron diferencias significativas (t-test) entre el estuario del Pando y los otros dos ($p < 0.05$), para la temporada I y II. La alta sensibilidad a los agentes mutagénicos, así como su gran abundancia en los tres estuarios definen a *O. argentinensis* como una especie bioindicadora de daño genético para dichos estuarios, la cual podría ser utilizada para futuros estudios de calidad ambiental.²⁸

4.2.1.7 Venezuela

En Venezuela, LÁREZ, Carol Yovana. en su investigación sobre: **Genotoxicidad en células sanguíneas de la guaraguara *Ancistrus brevifilis* (eigenmann, 1920), bajo condiciones controladas y en condiciones naturales en dos localidades del río manzanares, estado sucre, Venezuela**, indica que la especie *Ancistrus brevifilis* (Siluriformes: Loricariidae) conocida a nivel local como guaraguara, es un pez de gran distribución en los ecosistemas dulce acuícolas de la región nororiental de Venezuela. Esta especie habita y se alimenta en el fondo de los ríos donde hay acumulados muchos contaminantes; entonces, fue empleado como organismo centinela de contaminación acuática. Fue estudiado el efecto genotóxico que sobre las células sanguíneas de *A. brevifilis* tienen los contaminantes que se generan a partir actividades agrícolas existentes en el río Manzanares, mediante un ensayo de toxicidad aguda con dosis subletales de glifosato (0; 1; 3 y 5 ppm), un ensayo de toxicidad crónica por exposición a sedimentos y por detección *in situ* en el campo en las localidades de Yoraco y Guasdua. Se definió la viabilidad celular y se consideraron las lesiones a nivel de ADN mediante las técnicas de micronucleos y el ensayo cometa.

²⁸ GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf>

Se encontraron diferencias estadísticas significativas con el Test de micronúcleos y con el ensayo cometa pese a vigilar niveles de organización diferentes del ADN; en relación con los micronúcleos en cuanto a estructuras cromosómicas y aparato mitótico. El efecto del glifosato, en la generación de micronúcleos y anomalías nucleares en células sanguíneas de la guaraguara *A. brevifilis* fue de importancia en los especímenes que estuvieron expuestos a la concentración de 5 ppm.

El Test de toxicidad aguda empleando glifosato evidenció efectos nocivos sobre la molécula de ADN en células sanguíneas del pez *A. brevifilis*, pese a las diferentes afirmaciones que señalan la escasa actividad biológica del herbicida.²⁹

4.2.1.8 México

Se destaca en México el aporte de: FLORES, Lola Paulina, et al. en su estudio sobre: **Micronúcleos y anomalías nucleares en el *Goodeido Xenotoca melanosoma* del lago La Alberca en Michoacán, México**, donde se afirmó que: En estudios anteriores se han tomado muestras de 10 especies procedentes del lago La Alberca, Michoacán, México y se describió al pez *Goodeido Xenotoca melanosoma* como uno de los peces con mayor frecuencia de eritrocitos micronucleados (EMN), entonces, el objetivo de esta investigación fue estudiar al pez mencionado como bioindicador de genotóxicos usando el Test de micronúcleos (MN) y anomalías nucleares (AN) en eritrocitos de sangre periférica. Para tal fin este espécimen fue expuesto durante 24 o 96 horas a ciclofosfamida o colchicina, y se compararon los resultados con datos de los peces puestos en campo y los que se conservaron en cuarentena. Los resultados evidencian un aumento de MN y AN (valores de p de 0.0513 a 0.0036) a concentraciones y tiempo dependientes, lo cual defiende la hipótesis de que el pez *X. melanosoma* es bioindicador de genotoxicidad y citotoxicidad, esto es de gran importancia para analizar el estado del ecosistema de la cuenca Lerma-Chapala.

En el momento en el que *X. melanosoma* fue expuesto a genotóxicos como la COL (Colchicina) y CP (Ciclofosfamida), las frecuencias de EMN fueron cercanas a 40 EMN/10,000, lo que señala que en caso de que haya agentes micronucleogénicos en el Lago, la concentración sería muy baja o son especies específicas u órgano específicos.³⁰

²⁹ LÁREZ, Carol Yovana. Genotoxicidad en células sanguíneas de la guaraguara *Ancistrus brevifilis* (Eigenmann, 1920), bajo condiciones controladas y en condiciones naturales en dos localidades del río Manzanares, estado sucre, Venezuela, [en línea], Trabajo de grado Magister scientiarum en biología aplicada mención ecotoxicología. Cumaná: Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias, 2011. Resumen, p.14 y 28 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2267/1/Pg-LarezCarol.pdf>].

³⁰ FLORES, Lola Paulina, et al. Micronúcleos y anomalías nucleares en el *Goodeido Xenotoca melanosoma* del lago La Alberca en Michoacán, México, [en línea], 2008, p.641 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: [http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/OtrasInstituciones/FloresKehn\(pp641-650\)/641-650.pdf](http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/OtrasInstituciones/FloresKehn(pp641-650)/641-650.pdf)]

También en México, RICO, Miguel Ángel; SÁNCHEZ, Antonio Y QUESADA, Joel. en su investigación sobre: **EVALUACIÓN GENOTÓXICA DE EFLUENTES URBANO-INDUSTRIALES EN PECES NATIVOS E INTRODUCIDOS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN**, indicó que se evaluó la consecuencia que se genera por la contaminación sobre dos especies de peces que habitan en la cuenca del Río San Juan. Las especies que estaban en exposición a la contaminación todos los meses durante el periodo 2002-2004, fueron *Goodea atripinis* (nativa) y *Oreochromis mossambicus* (Tilapia del Mozambique) (exótica) encerradas en jaulas flotantes de tres sitios con un nivel de contaminación diferente. Dos sitios están sobre la cuenca del Río San Juan en el estado de Querétaro y el tercer sitio que fue el testigo está en el municipio de Tecozautla, Estado de Hidalgo. Para descubrir el daño por contaminantes sobre organismos de prueba se emplearon tres técnicas citogenéticas, el test de micronúcleos (MN) en células epiteliales de branquias de peces y (MN) en sangre periférica de peces. Los resultados evidenciaron que las dos especies de peces presentaron diferencia significativa $p < 0.05$ comparando dos sitios con alta contaminación (Centenario y Geiser) contra el sitio testigo (Tecozautla). La dos técnicas utilizadas evidenciaron sensibilidad para detectar daños genotóxicos, sin embargo, no hubo diferencia significativa $p > 0.05$ entre las dos especies de peces, al igual que en las dos técnicas empleadas.

Se registró una frecuencia de MN \pm Desv. Estándar 0.38 ± 0.02 % /1000 células en *Prochilodus nigricans* como grupo de control y el grupo expuesto presentó una frecuencia de MN DE 2.1 ± 0.09 /1000 células (exposición a mercurio) ³¹

En México está el aporte de: TORRES, Olivia; et.al. en su estudio sobre: **Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, México (México)**, en el que se evaluó la existencia natural de micronúcleos en sangre periférica de 10 especies de peces que habitan el lago "La Alberca", Michoacán (México), para sugerirlas como posibles bioindicadoras de agentes genotóxicos. Se recogieron muestras de sangre periférica de 56 organismos de 10 especies distintas y fueron evaluadas con microscopía de fluorescencia (100X) para registrar: el número de eritrocitos micronucleados (EMN) espontáneos en 10,000 eritrocitos, la proporción de eritrocitos policromáticos (EPC) en 1,000 eritrocitos y la relación citoplasmanúcleo (RC/N) de los eritrocitos

Se determinó que la especie *Xenotoca melanosoma* es candidata a ser propuesta como posible biomonitor de agentes genotóxicos debido a que es endémica, fácil de capturar y presentó el valor más alto de EMN espontáneos (3.7 ± 1.6), buena RC/N (1.7:1) y cantidad excelente de EPC (29.5 ± 15); la otra especie que podría

³¹ RICO, Miguel Ángel; SÁNCHEZ, Antonio Y QUESADA, Joel. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2004 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TS/EO/TSO-05.pdf

ser estudiada es la especie introducida *Oreochromis aureus* de distribución mundial y de fácil captura.³²

En México vale la pena resaltar el aporte de: PRIETO, Francisco; et.al. en su investigación sobre: **Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (*Danio rerio*)**. Se evaluaron los daños teratogénicos y la inducción de micronúcleos en células branquiales de peces cebra (*Danio rerio*) conservados en aguas bicarbonatadas cálcico magnésicas de un pozo de referencia y del pozo Zimapán 5, el último con una cantidad de arsénico que oscila entre 0,395 y 0,630 ppm. Para el análisis de genotoxicidad los especímenes se examinaron durante 180 días en tres tratamientos: en agua del pozo de referencia (control negativo), en el agua de referencia adicionada con 5 mg As (V)/L (control positivo), y en el agua del pozo Zimapán 5, con 65 especímenes por lote. En el agua se presentó una reducción de la concentración de As con el tiempo, en cambio, en los peces se presentó un aumento. Luego de 30 días se redujo el As en el agua del control positivo de 1092,65 ppb (36,42 ppb/día) pero en pescados se presentó un aumento de 523,81 ppb (17,46 ppb/día). Se evaluó la FMNs (Frecuencia de micronúcleos) en células de las branquias a los 0, 1, 2, 3, 15, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 días, y para ello se obtuvieron 5 ejemplares de cada tiempo y tratamiento, a los que se les extrajeron ambas branquias.

Hubo una frecuencia de MN de 10,2% MN / 1 000 células.

Los resultados evidenciaron que el As generó el mayor daño genotóxico y teratogénico en células de las branquias y en descendientes del pez cebra, a concentraciones subletales.³³

En México, se destaca la investigación de NÚÑEZ, Judith Angélica, et al. sobre: **Daño genotóxico y citotóxico producido por mercurio sobre células sanguíneas de (*Cyprinus carpio*)**, en el que indica que el mercurio es uno de los metales pesados de mayor repercusión en ecosistemas acuáticos, puesto que no se desechan de forma natural, pueden introducirse a la cadena alimenticia debido a los procesos de bioacumulación, generando efectos tóxicos de alta magnitud. En peces se ha evidenciado que el mercurio genera trastornos en la conducta sensorial, alimentaria, reproductiva y del nado. En relación al daño genotóxico y citotóxico, no hay mucha información, y estos análisis son de vital importancia para reconocer los mecanismos por los que actúa. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto citotóxico y genotóxico del mercurio, en sangre

³² TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf>

³³ PRIETO, Francisco; et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (*Daniorerio*), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p. 72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf

de la carpa común (*Cyprinus carpio*). Para lo cual fueron expuestos los especímenes a distintas concentraciones subletales del metal (0.001 mg/L y 0.01 mg/L) durante 12, 24, 48, 72 y 96 horas y luego de este tiempo de exposición se recolectaron muestras de sangre, y en estas se analizaron los siguientes biomarcadores: el daño DNA a través del Test de micronúcleos y la apoptosis utilizando la técnica de marcaje *in situ* del DNA fragmentado (TUNEL).

Se examinaron mil eritrocitos para cada muestra en el microscopio de luz y la frecuencia de micronúcleos en las células (MN) se mostró como número por mil (‰) MN. Los especímenes que se expusieron a ambas concentraciones evidenciaron un aumento importante del porcentaje de frecuencia de micronúcleos desde las 12 hasta las 96 horas en comparación con sus testigos ($p < 0.05$), el efecto es según el tiempo y la concentración. Cabe destacar que desde las 48 h el porcentaje de micronúcleos empieza a decrecer, pero nunca recupera el valor evidenciado por el grupo testigo. El Hg es un agente genotóxico y citotóxico, puesto que se evidenció un aumento en la frecuencia de micronúcleos, y también en la proporción de células apoptóticas en los eritrocitos de la carpa común (*Cyprinus carpio*), en ambas situaciones el daño es según la concentración y el tiempo de exposición. Finalmente, la concentración de 0.001 ppm de Hg que se tiene en cuenta como el LMP para la conservación de la vida acuática no es apto para el desarrollo de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en esta investigación, ya que esta concentración fue suficiente para inducir un aumento en la frecuencia de micronucleos en los peces.³⁴

4.2.2 En Europa

4.2.2.1 Italia

En Italia está el trabajo de BUSCHINI, A, et al. en su estudio sobre: **El ensayo cometa y el Test de micronúcleos en los eritrocitos circulantes de especímenes de *Cyprinus carpio* expuestos in situ a las aguas de lago tratadas con desinfectantes para potabilización**, en el que se planteó la detección de un posible efecto genotóxico de agua de superficie tratada con desinfectantes para potabilización es el objetivo del presente trabajo. El ensayo del cometa y la prueba de micronúcleos se aplicaron en los eritrocitos circulantes de *Cyprinus carpio*.

Los ejemplares jóvenes (20-30 g) fueron expuestos en las cuencas experimentales, construidas dentro de la planta de potabilización de Castiglione del Lago (Perugia, Italia). En esta planta el agua del lago Trasimeno es tratada y desinfectada para potabilización antes de que sea distribuida a las personas en la red de agua potable.

³⁴ NÚÑEZ, Judith Angélica, et al. Daño genotóxico y citotóxico producido por mercurio sobre células sanguíneas de (*Cyprinus carpio*), [en línea], México D.F: UAEMex, [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ameqa.org/AMEQA/V_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20BB03.pdf

No se evidenciaron diferencias significativas en ningún experimento en la frecuencia de micronúcleos entre las poblaciones de peces en las cuatro cuencas en el tiempo 0, es decir inmediatamente antes del comienzo de la exposición al agua desinfectada; se evidencia una muy buena homogeneidad en las condiciones de partida. Para todos los desinfectantes hay un incremento en la frecuencia de micronúcleos en las mismas poblaciones de peces al aumentar los tiempos de exposición; No obstante, este incremento alcanza estadísticas significativas solamente en ciertos casos. Existe un incremento significativo en la frecuencia de micronúcleos en las poblaciones de peces expuestas a Hipoclorito de Sodio, agua desinfectada en todos los experimentos y a la exposición a ClO_2 –agua desinfectada en los experimentos de octubre de 2000 y junio de 2001; un incremento significativo en comparación con la frecuencia de micronúcleos en $t = 0$ (es decir, antes de la exposición) se alcanza en $t = 20$ días, mientras la diferencia no es aún significativa en $t = 10$ días.³⁵

En Italia, se destaca el trabajo de: BOLOGNESI, Claudia y HAYASHI, Makoto. en su documento: **REVISIÓN, Test de micronúcleos en animales acuáticos**, en el cual se afirma que los contaminantes acuáticos generan distintos efectos en los organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas, lo cual afecta la función de los órganos, estados reproductivos, tamaño de las poblaciones, las especies, la supervivencia y por lo tanto la biodiversidad. De estos compuestos, los carcinogénicos y mutagénicos son los más peligrosos puesto que sus consecuencias pueden implicar un daño más allá del individuo y puede ser activa mediante varias generaciones. La aplicación de biomarcadores de genotoxicidad en organismos centinela permite el análisis de riesgos mutagénicos y/o para identificar las fuentes y destino de los contaminantes. El Test de Micronúcleos (MN) como un índice de daño genético acumulado durante la vida útil de las células es una de las técnicas más acertadas para la identificación de respuestas integradas a la mezcla compleja de contaminantes.

La frecuencia de MN genera un índice útil de daño acumulado genético durante la vida útil de las células y es un indicador de respuesta integrada a la combinación compleja de contaminantes monitoreados. El Test de MN es eficaz según el organismo y tipos de células evaluadas y se debe establecer sobre la base de la biología de las especies estudiadas. Algunas especies debido a su baja sensibilidad no son adecuadas para el biomonitoreo.

El establecimiento del procedimiento experimental para el Test de MN haciendo énfasis en los criterios para caracterizar las poblaciones de células y en la

³⁵ BUSCHINI, A, et al. Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of Cyprinus carpio specimens exposed in situ to lake waters treated with disinfectants for potabilization [En línea] En: Mutation Research, 2004, Vol 557, p. 119-129 [consultado el 17 de Abril de 2015.] Disponible en internet: http://www.researchgate.net/profile/Annamaria_Buschini/publication/8915251_Comet_assay_and_micronucleus_test_in_circulating_erythrocytes_of_Cyprinus_carpio_specimens_exposed_in_situ_to_lake_waters_treated_with_disinfectants_for_potabilization/links/00463539594dfeab1c000000.pdf.

cuantificación de MN es importante para aplicar este Test tanto en las pruebas de laboratorio como en estudios de campo en el medio ambiente ³⁶

4.2.2.2 Croacia

En Croacia vale la pena resaltar el trabajo realizado por: STRUNJAK, I; COZ, R y TOPIC, N. en su artículo: **Aparición de micronúcleos en diploides y triploides de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*)**, en el que indica que este trabajo tuvo como objetivo analizar la influencia de los diferentes niveles de ploidía en los peces y la presencia de micronúcleos. Por veinte minutos una fertilización de un grupo de huevos de trucha arco iris se expuso a temperaturas del agua de 26 ° para inducir la triploidía. El segundo grupo fue mantenido con una temperatura en el agua de 10 ° C, que es la adecuada para el desarrollo de la trucha arco iris. La frecuencia de eritrocitos micronucleados se determinó en la circulación periférica de la trucha arco iris (67 días después de la absorción de la yema - fase swim-up) y 128 días (etapa de alevines) después de la fecundación. Se presentó una diferencia significativa ($P < 0,001$) entre la frecuencia de eritrocitos micronucleados de diploide ($1,10 \pm 0,96 \text{ ‰}$) y triploides ($2,41 \pm 1,28 \text{ ‰}$) de pescado en la etapa en la piscina. El aumento de los valores medios de micronúcleos en diploide ($1,80 \pm 1,57 \text{ ‰}$) y triploides ($5,92 \pm 3,80 \text{ ‰}$) también se registraron los alevines.

En esta investigación, se estudiaron las frecuencias de micronúcleos en eritrocitos de una población control y el cambio de temperatura a los huevos fecundados de trucha arco iris. Los micronúcleos se observaron en ambos grupos de peces y los resultados evidencian ($P < 0,001$) mayor cantidad de micronúcleos en eritrocitos triploide que en individuos diploides en ambos periodos de muestreo.

Los resultados evidenciaron que los micronúcleos son consecuencia de aberraciones cromosómicas numéricas, pero se demuestra que aplicar en forma temprana un choque térmico en los huevos de peces genera una consecuencia indirecta en la generación de micronúcleos. ³⁷

³⁶ BOLOGNESI, Claudia y HAYASHI, Makoto. REVIEW, Micronucleus assay in aquatic animals, [en línea] En: Mutagenesis, 2011, vol. 26, No. 1 p. 205–213, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://mutage.oxfordjournals.org/content/26/1/205.full.pdf> ,

³⁷ STRUNJAK, I; COZ, R y TOPIC, N. Micronucleus occurrence in diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*), [en línea] En: Vet. Med. – Czech, 2003, Vol 48, No.8, p. 215–219 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://vri.cz/docs/vetmed/48-8-215.pdf>

4.2.2.3 Bélgica

En Bélgica, BELPAEME, K. et.al. realizó una investigación relacionada con: **Los estudios citogenéticos de PCB77 (bifenilos policlorados) en la trucha marrón (*Salmo trutta fario*) utilizando el ensayo de micronúcleos y el ensayo cometa alcalino**, en donde se afirma que los bifenilos policlorados (PCB) son contaminantes estables, que se pueden hallar en muchos compartimientos de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Son muy lipófilos y por lo tanto tienen el potencial de acumularse en la grasa de animales. Los mecanismos por los que los PCBs ejercen sus efectos adversos todavía no son muy claros. Es sabido que los PCB inducen a algunas enzimas de biotransformación importantes, pero sus propiedades mutagénicas todavía son controvertidas. La rotura de ADN y la potencia clastogénica de un PCB77 planar (3R3', 4,4'-tetraclorobifenilo) fueron determinadas in vivo en peces, empleando la electroforesis en gel de células individuales o ensayo cometa y el Test de micronúcleos, en los eritrocitos de la trucha marrón expuesto por 3, 9 y 14 días a las concentraciones iniciales de PCB de 780 y 918 pg /ml disueltas en agua.

Se evaluaron cinco peces por tratamiento y 50 y 2000 eritrocitos de sangre por cada concentración y se analizaron mediante el ensayo cometa y el Test de micronucleos respectivamente.

Los peces se expusieron por 3, 9 y 14 días a 25, 50, 100 y 200 mg EMS /l agua. No se ve un incremento estadísticamente significativo en frecuencias de micronúcleos. En conclusión, los datos de este estudio señalan que el PCB77 no genera roturas de cadenas dobles o individuales que se puedan detectar con el Test de micronúcleos y el ensayo cometa, en los eritrocitos de trucha marrón.³⁸

4.2.2.4 Portugal

En Portugal se destaca el trabajo de REIS, MA. et al. en su investigación sobre: **Efectos del fenantreno y el nitrito en juveniles del róbalo, *Dicentrarchus labrax*, mediante el uso de enzimas hepáticas biotransformadoras, fluorescencia biliar y micronúcleos como biomarcadores**, en el que planteó que los organismos acuáticos son capaces de absorber compuestos orgánicos especialmente del agua y por absorción de sustancias alimenticias contaminadas. La toxicidad de estos compuestos puede empeorar debido a la existencia de determinados compuestos inorgánicos como el nitrito (NO₂⁻). Para analizar el efecto del fenantreno (PHE), un hidrocarburo aromático policíclico, en presencia y

³⁸ BELPAEME, K. et.al. Cytogenetic studies of PCB77 on Brown trout (*Salmo trutta fario*) using the micronucleus test and the alkaline comet assay, [en línea] En: Mutagénesis, 1996, vol.11 No.5 p.485-492, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://mutage.oxfordjournals.org/content/11/5/485.full.pdf>

ausencia de NO₂⁻ (Nitrito), se expusieron juveniles de róbalo, *Dicentrarchus labrax*, a PHE intraperitoneal y NO₂⁻ en el agua, y se analizaron varias respuestas a los 1, 3 y 6 días de exposición. Los organismos expuestos al PHE evidenciaron menos actividad de la 7-etoxiresorufina O-deetilasa (EROD) hepática en comparación con el grupo control. La actividad de la enzima de la fase II, glutatión S-transferasa (GST), fue parecida en todas las agrupaciones de peces. La concentración de metabolitos del PHE, establecida como compuestos aromáticos fluorescentes, fue aproximadamente 14 veces mayor tanto en presencia como en ausencia de NO₂⁻, lo cual evidencia que el PHE es metabolizado aun con bajas actividades de la EROD. Solamente se identificó una presencia significativamente mayor de micronúcleos en róbalos tratados sólo con PHE, lo cual sugiere que en presencia de NO₂⁻ se formaron otros metabolitos del PHE que no tienen características genotóxicas.

Para establecer la capacidad genotóxica del PHE (Fenantreno) y sus metabolitos se estudió la presencia de micronúcleos en los eritrocitos de róbalo. La exposición al PHE generó un incremento significativo en la cantidad de micronúcleos a los 3 y 6 días (tres veces y cinco veces más, respectivamente) de exposición a este PAH. Cabe resaltar que con la presencia de NO₂⁻ en el agua no hubo cambios en la cantidad de micronúcleos. Los resultados dicen que la presencia de NO₂⁻ no aumentó la genotoxicidad del PHE en juveniles de róbalo, y que las isoenzimas de CYP, además de la CYP1A, también pueden influir en metabolismo del PHE, generando metabolitos de menor toxicidad ³⁹

4.2.3 En África

4.2.3.1 Egipto

En Egipto se resalta el trabajo de: ALI, Fagr Kh; EL-SHEHAWI, A.M y SEEHY, M.A: en su estudio sobre: **Ensayo de micronúcleos en genoma de los peces: Un monitor sensible para la contaminación de las aguas**, en el que afirma que el medio acuático constituye la mayor parte del planeta tierra y es el mayor de los recursos. Por tanto, su seguridad tiene relación con la seguridad de la salud de las personas.

En esta investigación se utilizaron tres especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, *Oreochromis aureus* y *Tilapia zilli*) y *Clarias gariepinus*, para calcular el nivel de contaminación utilizando el Test de micronúcleos (MN). El Test se ha empleado exitosamente como un ensayo mutagénico. El Test es sencillo, fiable, sensible y

³⁹ REIS, MA. et al. Phenanthrene and nitrite effects on juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*, using hepatic biotransformation enzymes, biliary fluorescence, and micronuclei as biomarkers [en línea]. En: Ciencias Marinas, 2009, Vol 35, No. 1, p. 29–40 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v35n1/v35n1a3.pdf>

no es dependiente de ninguna característica del cariotipo. Se colectaron peces desde sitios donde se evidenciaron las tensiones ambientales diferenciales. Se hicieron dos experimentos principales. En el primero, se recolectaron muestras de sangre, se fijaron durante 24 h y después fueron teñidas con Giemsa. En el segundo experimento, los peces se aclimataron durante una semana. Los peces fueron alimentados y cada muestra recibió una inyección IP de ciclofosfamida (2,6, 10, 40, mg / kg b.wt. Luego de 24 h, se recolectaron muestras de sangre y las frecuencias de MN fueron contabilizadas y estadísticamente probadas. Los resultados de esta investigación sugirieron el uso del Test de micronúcleos en eritrocitos de peces como una herramienta sensible de la contaminación acuática. Los resultados evidenciaron también que el ensayo se puede utilizar para la evaluación y el análisis de la contaminación del agua y mutágenos acuáticos.

Los hallazgos sugieren que los porcentajes MN fueron menos que los obtenidos a partir de eritrocitos periféricos, evidenciando que el sistema de reparación en los riñones cumple un rol más importante que el de eritrocitos periféricos. Los resultados evidencian que las distintas especies de peces responden de manera muy distinta a un agente genotóxico dado.⁴⁰

En Egipto, MEKKAWY, Imam A; MAHMOUD, Usama M y SAYED, Alaa El-Din. realizó una investigación sobre: **Efectos del 4-nonilfenol en las células sanguíneas del bagre africano *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)**, en el que se indica que los efectos destructivos del 4-nonilfenol sobre uno de los peces más económicos e importantes del Nilo, llamado el bagre africano (*Clarias gariepinus*) fueron estudiados. La apoptosis, alteraciones en eritrocitos, el ensayo de micronúcleos y los parámetros sanguíneos de recuento se utilizaron como indicadores biológicos para detectar esos efectos. Después de la exposición a concentraciones subletales de 4-nonilfenol (0, 0,05, 0,08 y 0,1 mg/l), Se registraron las células rojas de la sangre apoptóticas con muchas malformaciones y eritrocitos micronucleados. La exposición del bagre a concentraciones subletales del 4- nonilfenol (0,05 mg/L, 0,08 mg/l y 0,1 mg/l) dio lugar a cambios morfológicos en las células rojas de la sangre y a la aparición de algunos tipos de células patológicas. Los resultados revelaron que el 4-nonilfenol es altamente tóxico para el bagre *C. gariepinus*. La toxicidad del 4-nonilfenol en el bagre se incrementó con el aumento de sus concentraciones.⁴¹

⁴⁰ ALI, Fagr Kh; EL-SHEHAWI, A.M y SEEHY, M.A. Micronucleus test in fish genome: A sensitive monitor for aquatic pollution, [en línea]. En: African Journal of Biotechnology, 4 de Marzo, 2008, Vol 7, No. 5, p. 606-612. [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/58485/46829>

⁴¹ MEKKAWY, Imam A; MAHMOUD, Usama M y SAYED, Alaa El-Din. Effects of 4-nonylphenol on blood cells of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) [en línea]. En: Tissue and Cell. Agosto, 2011, Vol. 43, No. 4, p. 223-229 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816611000474?>

En Egipto, HARABAWY, Ahmed S.A. e IBRAHIM, Ahmed. Th.A. en su investigación sobre: **Toxicidad subletal del plaguicida carbofurano en el bagre africano *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): respuestas hematológicas, bioquímicas y citogenéticas**, indica que: esta investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos tóxicos de dos concentraciones subletales del pesticida carbofurano (0.16 and 0.49 mg/L, durante 35 días), sobre parámetros hematológicos y bioquímicos de sangre del bagre africano *Clarias gariepinus* primeramente mediante el ensayo de micronúcleos y alteraciones de eritrocitos.

Se obtuvo una frecuencia de MN \pm Desv. Estándar para el Tratamiento control de: 0.20 ± 0.004 % MN / 1000 Células, Tratamiento 1= 0.16mg/L, 2.26 ± 0.05 % MN / 1000 Células, Tratamiento 2 : 0.49mg/L, 8.77 ± 0.19 % MN / 1000 Células

Los resultados muestran que la exposición del bagre africano *Clarias gariepinus* a concentraciones subletales de carbofurano (0.16 and 0.49 mg/L) dio lugar a muchas alteraciones morfológicas en eritrocitos y se generaron algunos tipos de células patológicas.⁴²

En Egipto, KANDIEL, Mohamed M.M. et al. en su investigación sobre: **Modulación de la genotoxicidad y efectos endocrinos perturbadores del malatión mediante la dieta del polen de abeja y propóleos en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)**, indica que el presente estudio tuvo como objetivo verificar la utilidad de la dieta 2,5% de polen de abeja (BP) o propóleo (PROP) para superar los efectos perturbadores genotóxicos y endocrinos del malatión en el agua en *Oreochromis niloticus* (*O. niloticus*). La prueba de toxicidad aguda se realizó en *O. niloticus* en diversas concentraciones (0-8 ppm); la tasa de mortalidad se evaluó al día durante 96 h. El 96 h-CL50 fue de 5 ppm y por lo tanto 1/5 de la concentración letal media (1 ppm) se utilizó para la evaluación crónica de la toxicidad. En el experimento (1), peces (n = 8/grupo) permanecieron en una dieta (BP/PROP o sin aditivo (control)) y expuestos diariamente al malatión en agua a concentración de 5 ppm para 96 h "experimento de toxicidad aguda".

El tamaño y la posición de los micronúcleos en el citoplasma mostraron una ligera variación y, generalmente un micronúcleo por célula era observado. El malatión indujo un aumento significativo ($P < 0.05$) en la frecuencia de MN en el grupo Gr3 (alimentados con una dieta comercial estándar) en comparación con un grupo de

⁴² HARABAWY, Ahmed S.A. e IBRAHIM, Ahmed. Th.A. Sublethal toxicity of carbofuran pesticide on the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): Hematological, biochemical and cytogenetic response [en línea]. En: Ecotoxicology and Environmental Safety. Mayo, 2014, Vol. 103, p. 61–67 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651313004077>

control de placebo (C) ($9,00 \pm 0,83$ vs. $2,60 \pm 0,40$), lo que confirma su potencial genotóxico para los peces.⁴³

En Egipto, OMAR, Wael A. et al. en su investigación sobre: **Efectos genotóxicos de la contaminación por metales en dos especies de peces, *Oreochromis niloticus* y *Mugil cephalus*, de hábitats acuáticos muy degradados**, indica que En Egipto, el lago Qarun y sus piscifactorías vecinas se encuentran en una grave situación ambiental como resultado de la contaminación por aguas residuales agrícolas y descargas domésticas no tratadas. Los objetivos del estudio son evaluar los efectos genotóxicos de metales tóxicos en la tilapia del Nilo cultivadas y silvestres, *Oreochromis niloticus* y en salmonete *Mugil cephalus* recolectados de estos hábitats acuáticos contaminados, en comparación con los peces de un sitio de referencia no contaminado. Se registraron Las concentraciones de metales pesados (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} y Mn^{2+}) en agua y muestras de sedimentos.

Se obtuvieron Frecuencias de MN \pm Desv. Estándar en el Sitio 1 (sitio de referencia) con *Oreochromis niloticus* de $5.0 \pm 0.50\%$ MN / 2000 células y con *Mugil cephalus* de $2.75 \pm 0.56\%$ MN / 2000 células, en el Sitio 2 (Lago Qaroun) con *Oreochromis niloticus*: $34.50 \pm 1.60\%$ MN / 2000 células y con *Mugil cephalus*: $18.75 \pm 2.66\%$ MN / 2000 células y en el Sitio 3 (Piscifactorías en Qaroun) con *Oreochromis niloticus*: $23.25 \pm 1.40\%$ MN / 2000 células y con *Mugil cephalus*: $10.0 \pm 2.07\%$ MN / 2000 células

Hubo diferencias altamente significativas en la frecuencia de MN en ambas especies de peces recogidos de los sitios de estudio. Ambas especies se recolectaron del lago Qaroun y los cultivos de peces a su alrededor mostraron un aumento significativo en la frecuencia de MN en comparación con los peces muestreados en el sitio de referencia.⁴⁴

⁴³ KANDIEL, Mohamed M.M. et al. Modulation of genotoxicity and endocrine disruptive effects of malathion by dietary honeybee pollen and propolis in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [en línea]. En: Journal Of Advanced Research. Noviembre, 2014, Vol. 5, No. 6, p. 671-684 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S2090123213001367?>

⁴⁴ OMAR, Wael A. et al. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Julio, 2012, Vol. 746, No. 1, p. 7-14. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571812000770?>

En Egipto, ABDEL-WAHAB, Mosaad A. et al. en su investigación sobre: **Adsorción de esterigmatocistina por medio de la montmorillonita y la inhibición de su genotoxicidad en el pez tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)**, indica que la esterigmatocistina (STG) está estrechamente relacionada con la micotoxina aflatoxina como un precursor en la biosíntesis de la aflatoxina y clasificado como un carcinógeno IARC Grupo 2B. El objetivo de este estudio fue investigar la eficacia de la montmorillonita egipcia (EM), una arcilla mineral, para adsorber Stg, y así probar la estabilidad del complejo resultante bajo diferentes condiciones in vitro, y para utilizar el pez tilapia del Nilo como un modelo in vivo para evaluar el efecto protector de la EM contra la toxicidad y la clastogenicidad inducida por Stg. En el estudio in vitro, cuatro concentraciones de EM (0.5, 1, 2 y solución acuosa 4 mg/L) y tres concentraciones de Stg (5, 10 y 50 g/ml) se ensayaron. Los resultados muestran que tenía un EM de alta capacidad de adsorber Stg a diferentes concentraciones ensayadas. La adsorción osciló desde 93,1 hasta 97,8% de la Stg disponible en soluciones acuosas.

Los resultados de los estudios in vitro indican claramente que EM era capaz de adsorber Stg a partir de soluciones acuosas. EM tenía una afinidad muy alta para Stg y la capacidad de adsorción no fue significativamente afectada por la concentración de EM. La adición de 0,5 mg/L de EM resultó en la unión de 96,5% de Stg en el nivel de 5ug/ml, y la tasa de adsorción alcanzada fue del 93,1% en el nivel de 50 ug /ml. Sin embargo, la capacidad de unión no se ve muy afectada en el nivel de Stg en soluciones acuosas.

Los resultados muestran que Stg es tóxico y clastogénico para los peces, debido a la disminución significativa del peso corporal y el aumento de frecuencias de las células rojas micronucleadas de la sangre (MN RBC) y aberraciones cromosómicas en el riñón. La administración intragástrica de EM (montmorillonita egipcia) combinada con Stg para los peces resultó en una reducción del número de MN RBC y la frecuencia de aberraciones cromosómicas en el riñón en comparación con el grupo tratado con solo Stg. Podría concluirse que EM en sí era seguro y exitoso en la prevención de la toxicidad Stg y clastogenicidad.

En conclusión, los resultados de este estudio indican que EM tiene una alta afinidad por Stg in vitro, formando una adsorción compleja que era estable bajo diferentes pHs a 37 °C. Además, la estabilidad de este complejo era muy alta cuando se extrajo con diferentes disolventes orgánicos.⁴⁵

⁴⁵ ABDEL-WAHAB, Mosaad A. et al. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*). [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Abril, 2005, Vol. 582, No. 1 – 2, p. 20 – 27 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571804003596>

En Egipto, OSMAN, A. et al. en su investigación sobre: **Genotoxicidad de dos cepas patogénicas de hongos zoosporic (*Achlya klebsiana* y *Aphanomyces laevis*) en los eritrocitos de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus niloticus***, indica que en el presente trabajo se ha descrito el potencial genotóxico de dos cepas patógenas de zoosporic hongos (*klebsiana Achlya* y *Aphanomyces laevis*) en los eritrocitos de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus niloticus* por primera vez para tres pruebas complementarias: lesiones nucleares (LN), ensayo de micronúcleos (MN), y ensayo cometa (EC). Los grupos expuestos a los hongos zoosporic sometidos a la MN y la prueba LN mostraron diferencias estadísticamente significativas en las frecuencias de MN y las frecuencias de LN con respecto al control de uno. Además, se registró un aumento significativo ($p < 0.001$) en micronúcleos y frecuencias de lesiones nucleares con el aumento de la exposición. Se observó correlación entre las frecuencias de MN y NL, lo que sugiere la importancia de registrar esta anomalía con el fin de mejorar la información obtenida en la prueba de MN.

La tilapia del Nilo expuesta al hongo zoosporic sometido a las pruebas de MN, LN y CA mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al control de los testigos. También, aumentó significativamente ($p < 0,001$) en micronúcleos y frecuencias de lesiones nucleares y el porcentaje del daño en el ADN se registró con el aumento de la exposición en el tiempo. ⁴⁶

4.2.3.2 Nigeria

En Nigeria está el aporte de: OBIAKOR, M.O. et al. en su investigación sobre: **Eco- genotoxicología: Ensayo de micronúcleos en eritrocitos de peces como un biomarcador in situ de la contaminación acuática: una revisión**, en el que indica que la realización del Test de micronúcleos en eritrocitos de peces en el monitoreo, especialmente para la contaminación en el agua se ha descrito como biodetector sensible de genotóxicos. La universalidad de este Test ha sido reconocida por la diversidad receptiva de y acondicionamientos en modos de alerta temprana del daño ecológico y de la toxicidad, se evidencia en la salud de los organismos y ecosistemas. Ya que que los ecosistemas de agua dulce ricos en biodiversidad se están reduciendo en la actualidad de forma veloz en comparación con los ecosistemas marinos y terrestres, esto implica que sean los ecosistemas más frágiles del planeta y su sostenibilidad se encuentra comprometida debido a la intervención humana.

El medio acuático constituye la mayor parte de nuestro planeta; por lo tanto, de su seguridad depende la calidad de la salud humana y la seguridad alimentaria. Los

⁴⁶ OSMAN, A. et al. Genotoxicity of two pathogenic strains of zoosporic fungi (*Achlya klebsiana* and *Aphanomyces laevis*) on erythrocytes of Nile tilapia *Oreochromis niloticus niloticus*. [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2010, Vol. 73, No. 1, p. 24-31 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651309001808?>

Biomarcadores y bioindicadores mediante el Test de micronúcleos en peces brinda variada información que se encuentra en otras técnicas.

A través de este método se puede obtener información como: Alerta temprana sobre el daño ambiental, el efecto integrado de una variedad de problemas ambientales en la salud de un organismo y la población, comunidad y ecosistema, relaciones entre las respuestas individuales de los organismos expuestos a la contaminación y los efectos a nivel de población, pronta detección del posible daño a la salud humana, basados en las respuestas de la vida silvestre a la población y la eficacia de los esfuerzos de remediación en los cursos de agua de descontaminación.⁴⁷

En Nigeria, NWANI, Christopher. et al. en su estudio sobre: **Respuestas mutagénicas y fisiológicas en los juveniles de bagre africano, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), seguidos de una exposición a corto plazo al praziquantel**, en el que se afirma que el Praziquantel (PZQ) es una quinolina-pirazina acilada originalmente desarrollada y de aplicación veterinaria y es uno de los fármacos antihelmínticos más utilizados para el tratamiento de ciertos Trematodos y Cestodos tanto en humanos como en animales. El presente estudio investigó las respuestas mutagénicas y fisiológicas en los juveniles del bagre africano, *Clarias gariepinus* después de la exposición a corto plazo a praziquantel. Con base en 53.52 mg/l 96 h LC50 of PZQ obtenido, fueron seleccionadas dos concentraciones subletales de 5,35 y 10,70 mg/l y los peces fueron expuestos a estas concentraciones y a un control durante 15 días.

La exposición a 5,35 mg/L de PZQ indujo frecuencia de MN de 0,86% en los eritrocitos de sangre del pez en el día 1, el cual se incrementó significativamente a 1,62% en el día 10. Una tendencia similar también se observó a 10,70 mg/l de concentración de PZQ donde la frecuencia de MN fue de 1,14% el día 1, la cual aumentó a un máximo de 2.78% en el día 10 de la exposición. Había sin embargo una disminución en la frecuencia de MN en ambas concentraciones PZQ al día 15 después de lograr su máximo en el día 10. También fue significativamente mayor la inducción de MN en la muestra de peces expuestos a la PC (Control positivo) en comparación con la NC (Control negativo) durante toda la duración del experimento.⁴⁸

⁴⁷ OBIAKOR, M.O. et al. Eco-genotoxicology: Micronucleus Assay In Fish Erythrocytes as *in situ* Aquatic Pollution Biomarker: a Review [en línea]. En: J. Anim. Sci. Adv. 2012, Vol. 2, No. 1, p. 123-133 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: <http://www.grjournals.com/portals/grjournals/JASA/Vol2%20Issue1/JASA-21-123-133.pdf>

⁴⁸ NWANI, Christopher. et al. Mutagenic and physiological responses in the juveniles of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). following short term exposure to praziquantel. [en línea]. En: Tissue And Cell. Agosto, 2014, Vol. 46, No. 4, p. 264-273, [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816614000482?>

En Nigeria, está el aporte de OBIAKOR, M.O.; OKONKWO, J.C, Y EZEONYEJIAKU, C.D. en su estudio sobre: **Genotoxicidad en el ecosistema de agua dulce revela el daño en el ADN en el pez preponderante validado por inducción de micronúcleos in vivo en eritrocitos de riñón y branquias**, indica que la genotoxicidad del río Anambra fue estudiada mediante el ensayo de micronúcleos (MN) en especies de peces preponderantes en el río. Los índices de micronúcleos obtenidos fueron utilizados como biomarcadores para estimar y predecir el perfil de la contaminación y posible peligro de alimentarse de las especies acuáticas. El perfil de micronúcleos de los peces se midió a partir de los eritrocitos presentes en riñón y branquias utilizando la técnica microscópica.

El estudio mostró que en general, la incidencia de micronúcleos en las especies de peces (*Clarias Synodontis* y *Tilapia nilotica*) son excelentes biomarcadores para la vigilancia de la contaminación de agua dulce. Esto es así ya que los peces criados bajo condiciones ideales (control), aparentemente muestran niveles insignificantes de micronúcleos.⁴⁹

En Nigeria, BAKARE, Adenkule A. et.al. en su estudio sobre: **Citogenotoxicidad In Vivo y stress oxidativo inducido por lixiviados de residuos electrónicos y pozos contaminados**, indica que el medio ambiente, las plantas y la exposición de los animales a sustancias peligrosas de desechos electrónicos (e-desechos) en Nigeria está aumentando. En este estudio, el potencial citogenotóxico de las muestras de agua de desechos electrónicos y lixiviados contaminados se obtuvo de “Alaba Internacional Mercado Electrónico en Lagos, Nigeria”, evaluando la inducción de cromosomas y anomalías de crecimiento de la raíz en *Allium cepa* y de micronúcleos (MN) en eritrocitos periféricos de *Clarias gariepinus*. También se investigó la posible causa del daño en el ADN a través de las evaluaciones del malondialdehído hepático (MDA), catalasa (CAT), glutatión reducido (GSH) y superóxido dismutasa (SOD) como indicadores de estrés oxidativo.

Las frecuencias de eritrocitos micronucleados y eritrocitos con anomalías nucleares (núcleos globular y células binucleadas) eran dependientes de la concentración y significativa ($p < 0,05$), pero no eran dependientes del tiempo a concentraciones ensayadas de la concentración de ARL (Lixiviados de Alaba Raw) y 100% de agua de pozo. La frecuencia de MN aumentó en el séptimo día y alcanzó un máximo en el día 14 de la exposición, pero disminuyó en el día 28 a las concentraciones tratadas de ARL (excepto en 12,5% y 25%, cuando hubo aumento continuo con el tiempo) y pozo de agua.

⁴⁹ OBIAKOR, M.O.; OKONKWO, J.C, Y EZEONYEJIAKU, C.D. Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by in vivo micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes. [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. Diciembre, 2014, Vol. 775-776, p. 20-30 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571814002599?>

En conclusión, los lixiviados de desechos electrónicos y el agua de pozo contaminada indujo citogenotoxicidad en *C. gariepinus*. Los metales pesados y compuestos orgánicos presentes en las muestras analizadas provocaron el daño observado ADN a través de la formación de ROS (Especies reactivas al oxígeno).

50

En Nigeria, OBIAKOR, M. O. et al. en su investigación sobre: **Genotoxicología: Acción Conjunta e Individual del Cobre y Zinc sobre *clarias Synodontis* y *Tilapia nilotica***, en el que indica que la genotoxicidad del cobre, zinc y su mezcla binaria se examinó en *Synodontis clarias* y *Tilapia nilotica* utilizando el ensayo de micronúcleos sensible en el genoma del pez. Se observó un aumento en la formación de los micronúcleos en todas las tres concentraciones estudiadas (0.25LC50, 0.125LC50 y 0.0625LC50). Se observó que la frecuencia de micronúcleos aumentó en gran medida ($p < 0,05$) cuando las especies de peces fueron expuestas a la mezcla binaria de los metales pesados. El metal individual (Cu y Zn), actuando solos, producen ($p < 0,05$) niveles significativos de eritrocitos micronucleados en ambas especies. Después de 96 horas la recuperación en agua limpia de los peces especies expuestos a la mezcla binaria de los metales pesados, los niveles de micronúcleos en *Tilapia nilotica* disminuyeron ($p < 0,05$) mientras que los niveles en *Clarias Synodontis* no muestran disminución significativa ($p > 0,05$) en las concentraciones más altas y más bajas estudiadas.

El estudio mostró el efecto genotóxico de la mezcla única y binaria de Cu y Zn, incluso a exposición a corto plazo y su no dependencia de la dosis. Esta era una desviación significativa cuando los niveles de toxicidad de las mezclas se compararon con los niveles de toxicidad de los metales individuales.⁵¹

⁵⁰ BAKARE, Adenkule A. et.al. In Vivo Cytogenotoxicity and Oxidative Stress Induced by Electronic Waste Leachate and Contaminated Well Water [en línea]. En: Challenges. Julio, 2013, Vol. 4, p. 169-187 [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

⁵¹ OBIAKOR, M. O. et al. Genotoxicology: Single and Joint Action of Copper and Zinc to *Synodontis clarias* and *Tilapia nilotica*. [en línea]. En: Journal Of Applied Sciences & Environmental Management. Septiembre, 2010, Vol. 14, No. 3, p. 59-64. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

4.2.4 En Asia

4.2.4.1 India

En India, se destaca el trabajo de PRADIPTA, Sarangi. en su estudio sobre: **Test de micronúcleos: un indicador sensible para la contaminación acuática**, en el que indica que el medio acuático es el componente más importante del entorno que nos rodea, entonces, su sostenibilidad tiene relación directa con la salud humana. En esta investigación, los peces de agua dulce *Channa punctatus* fueron tomados como ejemplar de prueba para calcular la contaminación del agua mediante el Test de micronúcleos. Este Test se ha empleado exitosamente como un experimento de mutagenicidad. El organismo se expuso in vivo a tres concentraciones distintas (MC, MC/2 y MC/5) de dos pesticidas (clorpirifos y malatión) durante distintas fases de tiempo (5, 10, 15, 20, 25 días). Las muestras Periféricas de sangre frotis se tiñeron con Giemsa, las frecuencias MN se contabilizaron y se les realizó análisis estadístico. La conclusion de esta investigación sugiere el empleo del Test de micronúcleos en eritrocitos de peces como un indicador sensible al análisis de la contaminación en el agua.

Se obtuvieron Frecuencias de MN \pm Desv. Estándar / 1000 células, por Exposición al Clorpirifós, en tratamiento Control: 0.055 ± 0.007 , al Dia 5: 0.499 ± 0.036 , al Dia 10: 0.609 ± 0.060 , al Dia 15: 0.722 ± 0.069 , al Dia 20: 0.845 ± 0.093 y al Dia 25: 0.947 ± 0.093 .

Por Exposicion al malatión, en tratamiento Control: 0.055 ± 0.077 , al Dia 5: 0.351 ± 0.026 , al Dia 10: 0.451 ± 0.039 , al Dia 15: 0.543 ± 0.039 , al Dia 20: 0.633 ± 0.051 y al Dia 25: 0.592 ± 0.046

Los micronúcleos (MN) inducidos por el Malatión y el clorpirifos en los eritrocitos periféricos fueron en general puntos con forma y estaban cercanos al núcleo principal, con tamaño y forma que varía entre células. Mayormente cada eritrocito afectado tenía un solo MN mientras que algunas células contenían más de un micronúcleo. Los resultados evidenciaron que las distintas especies de peces pueden responder muy diferente a un agente genotóxico dado. Dependiendo del agente tóxico y de la especie, el comportamiento de las tasas de micronúcleos puede presentar variaciones significativas, probablemente relacionadas con la cinética química de las toxinas y a la velocidad del ciclo de hematopoyético. Se recomienda que las pruebas de micronúcleos en eritrocitos de peces se lleven a cabo en distintos momentos, lo cual permite el seguimiento de las frecuencias fluctuantes de micronúcleos.⁵²

⁵² PRADIPTA, Sarangi. Micronucleus assay: a sensitive indicator for aquatic pollution [en línea]. En: International Journal of Research in BioSciences. Octubre, 2012, Vol. 1, No. 2, p. 32-37 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://ijrbs.in/download.php?file=32-37.pdf>

En India, KUMAR, Ravindra. et al. en su investigación sobre: **Investigación de la genotoxicidad del malatión en agua dulce en el pez teleost *Channa punctatus* (Bloch) mediante la prueba de micronúcleos y el ensayo del cometa:** El malatión [S-(1,2-dicarboethoxyethyl) O, O-dimetilfosforoditioato] es un organofosforado muy empleado en el planeta. No obstante, son pocos los trabajos realizados para evaluar su consecuencia genotóxica en distintos tejidos de los peces. El objetivo de este trabajo fue estudiar la capacidad genotóxica de los plaguicidas sobre el agua dulce en el pez *Channa punctatus* a concentraciones subletales a través del Test de micronúcleos y el ensayo cometa. En un principio, el 96 h CL50 de malatión de aptitud comercial (50% EC) se decidió como 5,93 ppm en un sistema semiestático. Con base en CL50, tres concentraciones de ensayo (es decir. subletal I, subletal II, y subletal III) se concluyeron que eran de 1,48, 0,74, y 0,59 ppm, cada una, y las muestras de peces fueron expuestas a dichas concentraciones.

Luego de extraer la sangre, se realizó el frotis en un portaobjetos de microscopio limpio y se deja secar al aire a temperatura ambiente durante 2-3 horas en un ambiente donde no haya polvo ni humedad. Luego, los portaobjetos fueron fijados en metanol durante 10 min y se dejó secar al aire en la habitación.

Después de exponer a distintas concentraciones de malatión al pez, la inducción de MN fue significativamente ($p / 0,05$) más alta en los grupos de tratamiento en comparación con el grupo control ($0,02 \pm 0,01$) en todos los intervalos de muestreo. El tiempo que se necesita para la inducción de MN disminuye con el aumento de la concentración del pesticida.

Los resultados de este trabajo evidencian la genotoxicidad potencial del malatión, por lo cual se sugiere que es un peligro potencial para los organismos acuáticos, especialmente para los peces, y de forma indirecta a los seres humanos. No obstante, otros estudios se hacen necesarios para explorar las consecuencias biológicas de los daños de DNA en los organismos acuáticos después de una exposición de malatión y para formular las estrategias de futuro para salvaguardar los organismos acuáticos y el medio ambiente. ⁵³

En India, NWANI, C.D. et al. en su investigación sobre: **Evaluación de la mutagenicidad y genotoxicidad de un herbicida a base de atrazina en los peces de agua dulce *Channa punctatus* (Bloch) utilizando el ensayo de micronúcleos y electroforesis en gel de células individuales**, indica que el efecto mutagénico y genotóxico de 'Rasayanzine', un herbicida a base de atrazina, se empleó en peces *Channa punctatus* usando el Test de micronúcleos y los ensayos de electroforesis en gel de células individuales (SCGE). Tres

⁵³ KUMAR, Ravindra. et al. Investigation of the genotoxicity of Malathion to freshwater Teleost Fish *Channa punctatus* (Bloch) Using the Micronucleus Test and Comet Assay [en línea]. En: Arch Environ Contam Toxicol, 2010, Vol. 58, p. 123–130 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=5570bbfa-fe22-4246-ac8e-eeb28f08ba40%40sessionmgr4002&hid=4105>

concentraciones subletales del test *viz.*, SL-I (1 / 5th CL50 = ~8.48mgL⁻¹), SLII (1/8 de CL50 = ~5.30mgL⁻¹) y SL-III (1 / 10o CL50 = ~4.24mgL⁻¹) se calcularon utilizando un valor de CL50 y los ejemplares de peces fueron expuestos a estas concentraciones. Los eritrocitos y células de branquia se muestrearon en los días 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28 y 35 de exposición para la evaluación de la inducción de micronúcleos en eritrocitos de sangre y daño en el ADN usando el ensayo de SCGE tanto en eritrocitos de sangre como en las células de branquias. Hubo efectos significativos ($p < 0,01$) tanto para la concentración como para el tiempo de exposición observado en los peces tratados. El daño en el ADN medido como % de ADN de la cola en el eritrocito y células de branquias de control y grupos de tratamiento indicaron que los peces expuestos para el control positivo y a diferentes concentraciones de atrazina evidenciaron daños significativamente mayores de ADN ($p < 0.01$) en sus tejidos que en las muestras control negativo.⁵⁴

En India, ABUL FARAH, M. et al. en su investigación sobre: **Evaluación de la genotoxicidad del PCP y 2,4-D mediante el ensayo de micronúcleos en peces de agua dulce *Channa punctatus***, en el que indica que un estudio in vivo sobre los efectos genotóxicos del pentaclorofenol (PCP) y del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) se llevó a cabo con peces de agua dulce *Channa punctatus*. Los peces fueron expuestos a tres dosis subletales de PCP (0,2, 0,4 y 0,6 ppm) y 2,4-D (25, 50, y 75 ppm) por medio de tratamiento. Los eritrocitos micronucleados se muestrearon a intervalos de 48, 72, y 96 h post-tratamiento. La prueba de la t de Student reveló aumentos significativos en frecuencia de micronúcleos (MN). La Incidencia máxima de MN fue registrada como las concentraciones y duraciones más altas para ambos productos químicos. Un tiempo y dosis dependiente de la respuesta de la frecuencia de MN se confirmó para ambos productos químicos.

Los eritrocitos de *C. punctatus* eran de forma elíptica con un núcleo central oblongo. Los micronúcleos fueron observados en todos los grupos de tratamiento, incluyendo los controles. El tamaño y la posición de los MN en el citoplasma varía ligeramente de célula a célula; algunos fueron encontrados unidos al límite de la célula. Los MN fueron clasificados como picnóticos (homogéneamente teñidos) o granulares (Odeigah y Osanyipeju, 1995). Además, otras anomalías celulares y nucleares se observaron. Se obtuvieron resultados significativos con PCP y 2,4-D

⁵⁴ NWANI, C.D. et al. Mutagenic and genotoxic assessment of atrazine-based herbicide to freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) using micronucleus test and single cell gel electrophoresis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Marzo, 2011, Vol. 31, No. 2, p. 314-322 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668910002085?>

en cuanto a la inducción de micronúcleos y otras alteraciones celulares en los eritrocitos de *C. punctatus*.⁵⁵

En India, DAR, Sabzar. et al. en su estudio sobre: **Evaluación de la genotoxicidad y mutagenicidad inducida por el endosulfán manifestada a través de las vías de estrés oxidativo en los peces de agua dulce ciprínidos carpín (*Carassius Carassius L.*)**, indica que durante el último par de décadas, el endosulfán, ha sido uno de los plaguicidas policlorados que todavía está en uso, este ha recibido considerable atención debido a una serie de normas internacionales y las acciones de restricción alrededor del mundo. El objetivo del estudio fue evaluar los efectos citogenéticos del endosulfán mediante ensayos de genotoxicidad, a través de las vías de estrés oxidativo con el fin de comprender el mecanismo bioquímico, en *Carassius Carassius L.* La LC50-96 h (95% límites de confianza) valor de endosulfán fue 0.070 (desde 0,046 hasta 0,093) ppm; y en su base tres concentraciones de ensayo (sub-lethal I:0.052, II:0.035: y III:0.017 ppm) fueron seleccionadas por 35 días a exposición in vivo.

Se obtuvieron Frecuencias de MN para una Concentración subletal de endosulfán (0.052 ppm): 3.733 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición. A una Concentración subletal de endosulfán (0.035 ppm): 2.021 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición. Y a una Concentración subletal de endosulfán (0.017 ppm): 1.113 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición.

La formación de micronúcleos (MN), autenticado por la exploración microscópica electrónica, y las aberraciones cromosómicas (AC), se indujeron de forma significativa ($p < 0,05$) en todos los grupos tratados, incluyendo el ciclofosfamida de control positivo (4 ppm), en comparación con el control negativo. Del mismo modo la peroxidación lipídica (LPO) se indujo significativamente con la máxima concentración (SL-I), el 4 día (722,45%; $p < 0,01$).⁵⁶

En India, PARVEEN, Nuzhat y SHADAB, G.G.H.A. en su investigación sobre: **evaluación citogenética del cloruro de cadmio en *Channa punctatus***, indica que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto genotóxico de metales pesados en *Channa punctatus* a través del ensayo de micronúcleos, aberraciones cromosómicas e intercambio de cromátidas hermanas. Los peces se mantuvieron

⁵⁵ ABUL FARAH, M. et al. Evaluation of genotoxicity of PCP and 2,4-D by micronucleus test in freshwater fish *Channa punctatus*. [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2003, Vol. 54, No. 1, p. 25-29 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651302000374?>

⁵⁶ DAR, Sabzar. et al. Assessment of endosulfan induced genotoxicity and mutagenicity manifested by oxidative stress pathways in freshwater cyprinid fish crucian carp (*Carassius carassius L.*) [en línea]. En: Chemosphere. Febrero, 2015, Vol. 120, p. 273-283 [consultado el 30 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653514008911?>

por separado en cloruro de cadmio de 0,5, 1,0, 2,0 y 5,0 ppm durante 3 días. Para la prueba de micronúcleos en sangre se recogieron las muestras de la vena caudal y se untaron en portaobjetos limpios fijos en metanol y teñidos con un 2% de Giemsa. La frecuencia media de micronúcleos observada fue de 0,10, 0,15, 0,24, 0,34 y 0,39 en el control, 0,5, 1,0, 2,0 y 5,0 ppm CdCl₂ respectivamente. Se ha revelado a partir de los resultados de este estudio que el cadmio produce efectos genotóxicos en los peces.

Un total de 2.000 células se anotaron para cada grupo con el fin de estudiar los micronúcleos. El resultado indicó que el porcentaje de micronúcleos aumentó ($P < 0.05$) con el aumento en la concentración de cloruro de cadmio.

El presente estudio revela que el cadmio es un químico clastogénico que induce varias anormalidades cromosómicas y genera el aumento de células micronucleadas en los peces. Por lo tanto, se puede utilizar como un biomarcador para el monitoreo de la contaminación en el ambiente acuático.⁵⁷

4.2.4.2 Turquía

En Turquía, CAVAS, Tolga. en su estudio sobre: **Evaluación in vivo de la genotoxicidad de la atrazina y un herbicida a base de atrazina en el pez *Carassius auratus* usando el Test de micronúcleos y el ensayo cometa**, en el que indica que la atrazina es un herbicida de triazina selectivo utilizado para controlar las malas hierbas de hoja ancha y herbáceas principalmente en el maíz, el sorgo, la caña de azúcar, piña y otros cultivos, y en los campos de plantación de reforestación de coníferas. La atrazina ha sido uno de los pesticidas más frecuentemente detectados en los arroyos y ríos agrícolas, en las últimas dos décadas. Aunque las propiedades tóxicas de la atrazina son bien conocidas, los datos sobre los efectos genotóxicos de la atrazina en los organismos acuáticos son más bien escasos. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos genotóxicos de la atrazina y un herbicida a base de atrazina (Gesaprim®) en la especie de pez *Carassius auratus* L., 1758, (Pisces: Cyprinidae) utilizando el ensayo de micronúcleos y el ensayo cometa en eritrocitos de sangre periférica. Los peces fueron expuestos a 5, 10 y 15 µg/L de atrazina y a

⁵⁷ PARVEEN, Nuzhat y SHADAB, G.G.H.A. Cytogenetic evaluation of cadmium chloride on *Channa punctatus*. [en línea] En: Journal Of Environmental Biology, Mayo, 2012, Vol. 33, No. 3, p. 663-666. [consultado el 30 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=23&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

su formulación comercial para 2, 4 y 6 días. El Etil metano sulfonato (EMS) a una dosis única de 5 mg/L fue utilizada como control positivo.

Se presentaron aumentos significativos en el grupo de control positivo con respecto al grupo control negativo en el cual se observó ($P < 0,001$). No se observó aumento significativo en el grupo de control de disolvente ($P > 0,05$). Del mismo modo el tratamiento con atrazina no causó aumentos significativos en las frecuencias de eritrocitos micronucleados. El tratamiento con Gesaprim indujo significativamente la frecuencia de micronúcleos en todos los grupos experimentales con respecto a la grupo de control ($P < 0,05$).⁵⁸

En Turquía, ÇAVAŞ, Tolga. en su investigación sobre: **Genotoxicidad in vivo del cloruro de mercurio y el acetato de plomo: Ensayo de micronúcleos en células de peces teñidas de naranja acridina**, indica que los efectos genotóxicos del cloruro de mercurio y el acetato de plomo se evaluaron in vivo utilizando el ensayo Test de micronúcleos (MN) en naranja acridina (AO) teñida con eritrocitos de sangre periférica, la branquia y las células epiteliales de aleta de *Carassius auratus auratus*. Los peces fueron expuestos a tres diferentes concentraciones de cloruro de mercurio (MC) (1 µg/L, 5 µg/L y 10 µg/L) y acetato de plomo (LA) (10 µg/L, 50 µg/L y 100 µg/L) para 2, 4 y 6 días. Una sola dosis de 5 mg/L de ciclofosfamida se utilizó como control positivo. Además de los micronúcleos, los brotes nucleares (RN) fueron evaluados en los eritrocitos. La relación entre eritrocitos policromáticos y normocromáticos (PCE/NCE) en sangre periférica fue también evaluada para evaluar la citotoxicidad. Las frecuencias de MN en los tres tejidos fueron elevadas en los peces expuestos tanto a LA como a MC. Sin embargo, NBs (los brotes nucleares), mostraron una sensibilidad diferente a los tratamientos de metales. Las frecuencias de MN tanto el control como en los peces tratados fueron más altas en células branquiales y en general menores en los eritrocitos y células de aletas.

El presente estudio confirma la idoneidad del método de tinción AO para la prueba de micronúcleos en la forma de la diferenciación de PCE y NCEs en sangre periférica y además se añade más evidencia en cuanto a que LA y MC tienen efectos citotóxicos y genotóxicos en peces *C. auratus*. Los resultados de este estudio demostraron que los peces de colores no sólo es una importante especie de peces ornamentales, sino también un modelo útil para estudios biológicos y aunque muchas especies de peces son poliploides y su cariotipo no es estable, los

⁵⁸ CAVAS, Tolga. In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish *Carassius auratus* using the micronucleus test and the comet assay. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Junio, 2011, Vol. 49, No. 6, p.1431-1435 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0278691511001219?>

resultados de estudios previos demostraron la estabilidad cariotípica de *Carassius auratus auratus*.⁵⁹

En Turquía, SEPICI-DINCEL, Aylin. et al. en su investigación sobre: **Evaluación de la genotoxicidad en la carpa (*Cyprinus carpio* L.) a los daños en los alevines en tejidos de ADN y el ensayo de micronúcleos, después de la exposición ambiental a fenitrotión**, indica que el propósito de este estudio fue evaluar los efectos adversos de dosis subletales de fenitrotión, un insecticida organofosforotioato en el cerebro, branquias, hígado y los tejidos musculares como una relación de 8-OHdG(8-hidroxi-2 'desoxiguanosina) a dG para indicar los daños en el DNA y la frecuencia de eritrocitos de micronúcleos de genotoxicidad de la carpa (*Cyprinus carpio* L.). En este estudio, los pesos medios y las longitudes de los peces (n = 4-12) fueron $31,13 \pm 14,24$ g y $12,53 \pm 1,41$, respectivamente. Antes del experimento, los peces se mantuvieron en agua aireada del grifo sin cloro en $21,8 \pm 1$ °C y se alimentaron diariamente con alimento comercial a una tasa del 2% de su peso corporal. Los experimentos se llevaron a cabo bajo condiciones estáticas en los acuarios. De calidad técnica (95%) fenitrotión se diluyó en acetona para dar una solución de dosificación de 10 mg/L.

El tratamiento con fenitrotión aumentó significativamente la frecuencia de micronúcleos ($6,43 \pm 3,89\%$) en comparación con el grupo control ($1,29\% \pm 1,03$), y también se observaron anomalías nucleares en el grupo experimental.⁶⁰

4.2.4.3 China

En China, NAN, Ping. et al. en su estudio sobre: **Efectos genotóxicos de 8-hidroxilquinoleína en locha (*Misgurnus anguillicaudatus*) evaluado mediante el Test de micronúcleos, el ensayo cometa y análisis RAPD (ADN polimórfico amplificado al azar)**, en el que indica que este estudio fue un paso preliminar en la evaluación de los efectos genotóxicos de 8-hidroxilquinoleína (8-HOQ) en locha (*Misgurnus anguillicaudatus*) utilizando el Test de micronúcleos, el ensayo cometa y el ensayo RAPD. En el ensayo de micronúcleos y ensayo cometa, la tasa de micronúcleos (%) y tres parámetros cometa (tasa de arrastre, longitud de la cola y

⁵⁹ ÇAVAŞ, Tolga. In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: Micronucleus test on acridine orange stained fish cells. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Enero, 2008, Vol. 46, No. 1, p. 352-358 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S027869150700302X?>

⁶⁰ SEPICI-DINCEL, Aylin. et al. Genotoxicity assessment of carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings by tissue DNA damage and micronucleus test, after environmental exposure to fenitrothion. [en línea] En: Toxicology Mechanisms and Methods. 2011, Vol. 21, No. 5, p. 388-392 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=27&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

el momento de la cola) en peces tratados aumentaron con el aumento de la concentración de 8-HOQ y con el tiempo de tratamiento. Estos resultados mostraron que la exposición a 8-HOQ induce significativamente la toxicidad genética en células de sangre en el pez locha un ensayo de RAPD posterior, también mostró que el 8-HOQ indujo un efecto genotóxico en la locha.

De acuerdo con el resultado de la prueba de toxicidad aguda, noventa adultos lochas se dividieron aleatoriamente en 5 grupos (3 paralelos en cada grupo, 6 peces en cada paralelo), de los cuales 4 grupos servido como grupo de tratamiento que fueron expuestos, respectivamente, a la solución de 8-HOQ a la concentración de 3,629, 7,258, 10,887 y 14,516 mg l-1 durante 6 días, y otro como un grupo de control. Después de 2, 4 y 6 días de exposición, las muestras de sangre eran obtenidas y se untaron en los portaobjetos para los ensayos de MN según a Hoshina et al. (2008).

Se observó un aumento del número de micronúcleos en las muestras expuestas a 3,629 a 14,516 mg l-1-8 HOQ para los días 2, 4 y 6 en comparación con el control de la locha. Las diferencias significativas entre el grupo de control y cada grupo tratado ($P < 0,01$) fueron observadas durante todo momento tratamiento de 8-HOQ. Además, la frecuencia de MN fue mayor con el aumento de las concentraciones de 8-HOQ, y mostró una relación evidente dosis-efecto. Además, estas diferencias fueron significativas y se correlacionaron con la longitud de tiempo de exposición el cual muestra una relación tiempo-efecto.⁶¹

4.2.4.4 Japón

En Japón, DEGUCHI, Yuya. et al. en su investigación sobre: **Evaluación de las actividades mutagénicas de lixiviados en vertederos mediante la prueba de micronúcleos y ensayo cometa utilizando el pez de colores**, indica que para desarrollar un sistema simple para el control de la presencia de mutágenos/ carcinógenos en los lixiviados de los vertederos, se utilizó el ensayo de micronúcleos y electroforesis (cometa) ensayo de gel de célula única desarrollada originalmente para ratones y ratas en el pez de colores (*Carassius auratus*). El pez de colores fue expuesto durante 9 días en lixiviado con tratamiento químico y biológico (lixiviado tratado) o sin tratamiento (lixiviado crudo).

⁶¹ NAN, Ping. et al. Genotoxic effects of 8-hydroxylquinoline in loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) assessed by the micronucleus test, comet assay and RAPD analysis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Mayo, 2013, Vol. 35 No. 3, p. 434-443. [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668913000215?>

En el ensayo de micronúcleos, los núcleos y micronúcleos en eritrocitos y células branquiales mostraron un color verde fluorescente después de la tinción con naranja de acridina. Se vieron las frecuencias de micronúcleos en los eritrocitos periféricos y en las branquias de los peces de colores, respectivamente. En los eritrocitos periféricos fue difícil detectar el micronúcleo. Por otro lado, en las branquias, los lixiviados crudos indujeron una mayor frecuencia de micronúcleos que los lixiviados tratados. La mutagenicidad de lixiviados crudos y tratados de vertederos se evaluó mediante la prueba de micronúcleos y el ensayo cometa utilizando peces de colores. Se sugirió una combinación de los dos bioensayos para que pueda ser una herramienta potencial para biomonitorizar los mutágenos/carcinógenos en un ambiente acuático.⁶²

4.2.4.5 Bangladesh

En Bangladesh, AHMED, Kawser. et al. en su estudio sobre: **La evaluación de los potenciales genotóxicos del arsénico en la tilapia (*Oreochromis mossambicus*) mediante el ensayo cometa alcalino y ensayo de micronúcleos**, indica que este experimento se llevó a cabo para estudiar los potenciales genotóxicos de arsénico de sodio (NaAsO_2) en agua dulce en el pez *Oreochromis mossambicus* utilizando el ensayo cometa alcalino y el ensayo de micronúcleos (MN).

Los micronúcleos no tuvieron ninguna conexión con el núcleo principal, fue similar en el color y la intensidad como el núcleo principal y tienen un área de menos de 1/3 del núcleo principal. Se registró en el grupo de control la frecuencia de MNi, esta permaneció casi constante y no varió significativamente en los diferentes intervalos de muestreo. La exposición a diferentes concentraciones de NaAsO_2 aumentó significativamente la frecuencia MNi en las muestras de peces expuestos más que en el grupo control a las 96 h y 192 h de exposición, mientras que, hubo una tendencia de disminución en la frecuencia MNi después de 192 h de exposición dentro de los grupos de concentración.⁶³

⁶² DEGUCHI, Yuya. et al. Evaluation of mutagenic activities of leachates in landfill sites by micronucleus test and comet assay using goldfish. [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic. 5 de Marzo, 2007, Vol. 627, No. 2, p.172-185 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571806004013?>

⁶³ AHMED, Kawser. et al. Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) using alkaline comet assay and micronucleus test. [en línea]. En: Chemosphere. Junio, 2011, Vol. 84, No.1, p.143-149. [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653511001585?>

4.3 ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO

Revisando la información recopilada de trabajos e investigaciones que se han realizado hasta la fecha en relación con el Test de micronucleos en peces, es posible observar que se ha hecho un arduo trabajo a nivel global, y es posible observar que el Test de Micronúcleos en peces es utilizado ampliamente como indicador de contaminación de aguas, ya que al parecer los peces son sensibles a los cambios en el ambiente y a la introducción de contaminantes al agua. El estado de salud de los peces puede indicar que existe un nivel de contaminación determinado en un ecosistema acuático, unos peces son más sensibles que otros, sin embargo en algunos peces es posible observar un daño genotóxico y una frecuencia de micronucleos en su organismo, que permiten identificar el nivel de toxicidad de las aguas, y con base en eso prevenir una mayor contaminación y preservar la salud humana y las especies acuáticas.

El país donde se ve una mayor investigación en el tema es en México, lo cual evidencia que en este país hay un interés y conocimiento en relación con el tema, esto puede deberse a que en México hay niveles de contaminación muy altos, lo cual ha podido afectar los ecosistemas acuáticos de ese país, lo que ha llevado a que sean necesarias investigaciones respecto a contaminación de aguas y restauración de estas, por lo tanto, esto es importante ya que no solo se aporta a mejorar la situación ambiental del país, sino que también se genera una mayor conciencia de esta problemática.

También es posible observar en la recopilación realizada, que hay un gran número de países de diversos continentes, que han estado interesados en la temática, esto refleja la necesidad global que se está generando de preservar nuestros recursos, en este caso el agua.

Incluso esta técnica es usada en humanos, como es posible observar en el Marco Teórico, el documento citado en el que se hace un biomonitorio en agricultores de un sector de Bolivia, para medir el nivel de daño generado por el uso de plaguicidas, por lo que puede ser una técnica ampliamente usada, no solamente para medir calidad de agua, sino también para medir condiciones ambientales y de calidad de otro tipo de recursos de nuestro entorno natural.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta monografía se llevo a cabo la siguiente metodología de trabajo:

Primeramente, se eligió el tema y su universo de análisis, el cual se investigó de diversas fuentes bibliográficas y para su delimitación se tuvieron en cuenta las siguientes palabras clave: Test de micronucleos en peces de agua dulce, calidad de agua, toxicidad en agua y contaminación acuática. Después, se procedió a planificar el trabajo y su desarrollo y se plantearon las dificultades que se podrían presentar durante este. Luego se realizó la búsqueda de la información para la cual se tuvieron en cuenta bases de datos científicas de la Universidad Autónoma de Occidente (Science direct) y de la web, también se consultó en libros, artículos científicos, tesis y demás documentos en formato digital relacionados con el tema de interés.

Posteriormente, se realizaron matrices en las cuales se mencionó información específica de cada trabajo encontrado, como: especies de peces mas sensibles al Test de micronucleos, los laboratorios o ecosistemas donde se realizaron los proyectos, los tejidos analizados y los valores de MN (Micronúcleos), contaminantes empleados durante la etapa experimental de los proyectos o investigaciones, el nivel trófico de las especies de peces estudiadas en cada trabajo realizado, y comentarios y conclusiones respecto a la información encontrada. Luego, se realizó análisis de artículos, documentos e información encontrada en las matrices, y se resaltaron los aspectos más importantes que pudieron ser de utilidad para el presente trabajo.

Finalmente, se revisó cuidadosamente el trabajo, así como las correcciones que los asesores de este trabajo hayan planteado y con base en esto se han realizado los ajustes pertinentes. Finalmente se corrigieron detalles finales tanto de redacción como de estructura, párrafos, tipo de letra, numeración, anexos, etc.

5.1 RECURSOS Y MATERIALES

- Bases de datos científicas. (Science direct y bases de datos científicas en la web)
- Documentos científicos.
- Artículos científicos.
- Trabajos de grado.

6. RESULTADOS

Tabla 1. Análisis de estudios de más de una especie

Especie(s)	Localización Geográfica	Contaminantes	Especie más afectada (Cuando hay más de una especie)	Comentarios	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> -<i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común) -<i>Astyanax eigenmanniorum</i> (Mojarra piava), -<i>Cheirodon interruptus</i>. (Mojarrita). 	Río Cuarto, Córdoba, Argentina.	Metanol	<i>Astyanax eigenmanniorum</i> , (Mojarra piava)	<ul style="list-style-type: none"> -No se evidenciaron diferencias significativas entre las especies icticas, en los eritrocitos micronucleados ($P > 0,05$). -Las frecuencias de micronúcleos fue muy baja en las tres especies. 	POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies icticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67, [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf .
<ul style="list-style-type: none"> -<i>Xenotoca melanosoma</i> (Mexcalpique negro) -<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul) -<i>Chirostoma Consocium</i> (Charal de rancho) -<i>Chirostoma lucius</i> (Charal de laguna) -<i>Lepomis macrochirus</i> (Mojarra azul) -<i>Allophorus robustus</i> (goodeido Bulldog) -<i>Zoogoneticus</i> 	Lago "La Alberca", Michoacán, México	Etanol	<i>Xenotoca melanosoma</i> (Mexcalpique negro)	Se determina a la especie <i>Xenotoca melanosoma</i> como candidata para evaluarse como un posible indicador de contaminantes, ya que es una especie endémica, fácil de capturar y presentó el valor más alto de EMN espontáneos (3.7 ± 1.6), buena RC/N (Relación citoplasma núcleo (1.7:1) y cantidad excelente de EPC	TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf

<i>quitzeoensis</i> (Osteichthyes-Goodeidae) <i>-Chapalichthys encaustus</i> <i>-Poeciliopsis Infans</i> <i>-Goodea atripinnis</i>				(Eritrocitos policromáticos) (29.5±15).	
<i>-Goodea atripinnis</i> <i>-Oreochromis mossambicus</i> . (Tilapia del mozambique)	Cuenca del Río San Juan en el estado de Querétaro, y municipio de Tecozautla, Estado de Hidalgo, México.	Metanol.	<i>-Goodea atripinnis</i> <i>- Oreochromis mossambicus</i> . (Tilapia del mozambique)	La especie <i>Goodea atripinnis</i> y <i>Oreochromis mossambicus</i> en el sitio Tecozautla en durante el periodo de esta investigación a través de las pruebas de micronúcleos en sangre periférica y células epiteliales, no se detectaron diferencias significativas al comparar el porcentaje de micronúcleos entre los grupos testigos y tratados.	RICO, Miguel Ángel; SÁNCHEZ, Antonio Y QUESADA, Joel. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2004 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TS/EO/TSO-05.pdf .
<i>-Percillia gillissi</i> , <i>-Trichomycterus areolatus</i> <i>-Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha arcoiris)	Río Cruces, Provincia de Valdivia Chile	Contaminantes presentes en los efluentes Industriales en el Río Cruces, Provincia de Valdivia Chile	Ninguna	El ensayo del cometa no evidenció daño clastogénico en eritrocitos nucleados en ninguna de las especies estudiadas. En el test de micronúcleos no se evidencia un aumento en la frecuencia de micronúcleos en eritrocitos nucleados provenientes de las 7 estaciones del río Cruces.	CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA CHILE. PROGRAMA DE MONITOREO ECOTOXICOLÓGICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES EN EL RÍO CRUCES, PROVINCIA DE VALDIVIA CHILE. [en línea] Valdivia: Universidad de Concepción, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.sinia.cl/1292/articles-35166_Cap4.pdf

<p>-<i>Micropogonias furnieri</i> (Corvina rubia)</p> <p>-<i>Paralichthy sorbignyanus</i></p> <p>-<i>Mugil platanus</i> (La lisa)</p> <p>-<i>Odontesthes argentinensis</i> (Pejerrey escardón)</p>	<p>Estuarios Pando, Solís Chico y Solís Grande, zona costera de canelones, Uruguay.</p>	<p>Metanol</p>	<p><i>Odontesthes argentinensis</i> (Pejerrey escardón)</p>	<p>La alta sensibilidad a los contaminantes, al igual que su gran abundancia en los tres estuarios se determina que la especie <i>O. argentinensis</i> es buena bioindicadora de daño genético para los estuarios que se estudiaron. La cual se puede emplear para futuros estudios de calidad ambiental.</p>	<p>GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf</p>
<p>-<i>Prochilodus magdalenae</i>, (Bocachico)</p> <p>-<i>Oreochromis sp.</i>(Tilapia)</p>	<p>Estación piscícola de la Universidad de Antioquia (San José del Nus, Antioquia), Colombia.</p>	<p>Cloruro de mercurio</p>	<p><i>Prochilodus magdalenae</i>, (Bocachico)</p>	<p>Los resultados muestran que el bocachico es más sensible que la tilapia al cloruro de mercurio, esto puede basarse en varios mecanismos. El bocachico es una especie nativa que no ha sido intervenida genéticamente, en cambio la tilapia es un híbrido que sí ha sido intervenido. Esto puede causar diferencias en los mecanismos de detoxificación y reparación a los efectos genotóxicos de metales pesados.</p>	<p>PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (<i>Prochilodus magdalenae</i> y <i>Oreochromis</i> sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111, [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidades/biologicas/raba2003v25n79art2.pdf</p>

<p>-<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo) -<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul) -<i>Tilapia zilli</i>, (Mojarra) -<i>Clariasga riepinus</i></p>	<p>Rio nilo (Shubrakhit), abou homos, Kafr Eldawar (Barsiwqe) y el lago Mariout, en Egipto.</p>	<p>Malatión, clorpirifos.</p>	<p><i>Clariasga riepinus</i></p>	<p>Los resultados evidencian que las diferentes especies de peces responden de manera completamente diferente a un genotóxico dado</p>	<p>ALI, Fagr Kh; EL-SHEHAWI, A.M y SEEHY, M.A. Micronucleus test in fish genome: A sensitive monitor for aquatic pollution [en línea]. En: African Journal of Biotechnology, 4 de Marzo, 2008, Vol 7, No. 5, p. 606-612, [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet:http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/58485/46829</p>
<p>-<i>Prochilodus nigricans</i> (Boquichico), -<i>Mylossoma duriventris</i> (palometa) -<i>Hoplias malabaricus</i> (La talarira).</p>	<p>Rios Madeira y Solimoes, Brasil.</p>	<p>Mercurio</p>	<p><i>Hoplias malabaricus</i> (La talarira)</p>	<p>Las Frecuencias de MN se elevaron casi de cuatro veces en P. nigricans y M. duriventris y aproximadamente 30 veces en H. malabaricus del río Madeira. En cuanto a los sitios de muestreo (contaminado vs. Referencia sitios) arrojaron diferencias significativas en las tres especies.</p>	<p>PORTO, Jorge; ARAUJO, Cleusa y FELDEBERG, Eliana. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species, [en línea] En: Environmental Research, Marzo, 2005, Vol 97, No. 3, p.287-292 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://www.albuw.a it.ac.th/group_r/mercury/report-3/pdf_link/mutagenic_effect.pdf</p>

<p>-<i>Cyphocharax magdalenae</i> (La yalúa),</p> <p>-<i>Prochilodus Magdalena</i> (Bocachico)</p> <p>-<i>Astyanax caucanus</i> (Mojarra caucana)</p> <p>-<i>Astyanax sp.</i> (Mojarra),</p> <p>-<i>Triportheus magdalenae</i>,</p> <p>-<i>Ctenolucius hujeta</i> (Barracuda de agua dulce)</p> <p>-<i>Trachelyopterus insignis</i>,</p> <p>-<i>Eigenmania virescens</i> (El pez cuchillo)</p>	<p>Ciénaga de cachimbero (Santander) y ciénaga ayapel (Cordoba), Colombia.</p>	<p>Metanol</p>	<p><i>Cyphocharax magdalenae</i> (La yalúa)</p>	<p>La frecuencia media de micronúcleos varió entre 1,41 para <i>T. insignis</i> y 3,75 para <i>C. magdalenae</i>. El número máximo de micronúcleos encontrados fueron para <i>Ctenolucius Sujeta</i> (7 nmm) y <i>Cyphocharax magdalenae</i> (10,5).</p>	<p>PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. : Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia [en línea] En: Actual Biol, 2009, Vol 31, No. 90, p. 67-77, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n90/v31n90a6.pdf</p>
<p>- <i>Pimelodus maculatus</i> (Bagre Amarillo)</p> <p>-<i>Leporinus friderici</i> (Leporino manchado)</p>	<p>Rio paraguay en el pantanal brasileño, Caceres, Mato Grosso, Brasil</p>	<p>Cromo, sulfuros, aceites y grasas, y / u otros productos químicos presentes en el Rio paraguay en el pantanal brasileño.</p>	<p><i>Pimelodus maculatus</i> (Bagre Amarillo)</p>	<p>“Distintas especies de peces pueden responder de modos diferentes a un determinado agente genotóxico. Así, cuando se comparan las tasas de MN y MNC inducidas en <i>P. maculatus</i> y <i>L. Friderici</i> eritrocitos en los sitios 1 y 3 en la temporada seca, las tasas más altas se verificaron en <i>P. maculatus</i>, demostrando que es un centinela más sensible.”</p>	<p>SARTINI, Vania María, et.al. In situ assessment of the Paraguay River Water, in Brazilian Pantanal, by means of Micronucleus Assay with Fish and chemical analysis, [en línea] En: Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Abril, 2013, Vol 90, No. 4, p.427-433 [Consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=da2cd672-24ed-4cc5-83ce-d3182de6882e%40sessionmgr4005&vid=1&hid=4113</p>

<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica) y <i>Mugil cephalus</i> (Mujol)	Lago Qaroun, Egipto	Metales pesados: Cu, Zn, Pb, Fe y Mn	<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica)	Hubo diferencias altamente significativas en la frecuencia de MN en ambas especies de peces recogidos de los sitios de estudio. Ambas especies se recolectaron del lago Qaroun y los cultivos de peces a su alrededor mostraron un aumento significativo en la frecuencia de MN en comparación con los peces muestreados en el sitio de referencia.	OMAR, Wael A. et al. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, <i>Oreochromis niloticus</i> and <i>Mugil cephalus</i> , from highly degraded aquatic habitats [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Julio, 2012, Vol. 746, No. 1, p. 7-14. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571812000770
<i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo) , <i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)	Rio Anambra (Nigeria)	Metales pesados y HAP, (hidrocarburos aromáticos policíclicos),	<i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)	El estudio mostró que en general la incidencia de micronúcleos en las especies de peces (<i>Clarias Synodontis</i> y <i>Tilapia nilotica</i>) son excelentes biomarcadores para la vigilancia de la contaminación de agua dulce. Esto es así ya que los peces criados bajo condiciones ideales (control), aparentemente muestran niveles insignificantes de micronúcleos.	OBIAKOR, M.O.; OKONKWO, J.C, Y EZEONYEJIAKU, C.D. Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by in vivo micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes. [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental

<i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo) , <i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)	Estado de Anambra, Nigeria.	Cobre y Zinc	<i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)	El estudio mostró el efecto genotóxico de la mezcla única y binaria de Cu y Zn, incluso a exposición a corto plazo y su no dependencia de la dosis. Esta era una desviación significativa cuando los niveles de toxicidad de las mezclas se compararon con los niveles de toxicidad de los metales individuales.	OBIAKOR, M. O. et al. Genotoxicology: Single and Joint Action of Copper and Zinc to <i>Synodontis clarias</i> and <i>Tilapia nilotica</i> . [en línea]. En: Journal Of Applied Sciences & Environmental Management. Septiembre, 2010, Vol. 14, No. 3, p. 59-64. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105
--	--------------------------------	--------------	---------------------------------------	--	---

Tabla 2. Según el sitio donde se realizó el análisis de MN: Laboratorio o Ecosistema

Especie (s)	Laboratorio	Ecosistema	Contaminante/ Dosis	Comentario	Referencia
<p>-<i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común)</p> <p>-<i>Astyanax eigenmanniorum</i> (Mojarra piava),</p> <p>-<i>Cheirodon interruptus</i>. (Mojarrita).</p>		El lago urbano Villa Dálcar, Argentina	Metanol, durante 20 Min	<p>No se evidenciaron diferencias significativas entre las especies icticas, en los eritrocitos micronucleados ($P > 0,05$).</p> <p>-Las frecuencias de micronúcleos fue muy baja en las tres especies.</p>	POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies icticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67, [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf .
<i>Goodeido Xenotoca Melanosoma</i> (Mexcalpique negro)		Lago la alberca, Mexico	<p>Grupo 4: Expuesto a (Colchicina) COL (Sigma) 0.285 mg/l / 24 h, Grupo 5: COL 0.516 mg/l/24 h, Grupo 6: COL 0.774 mg/l/24 h; Grupo 7: Expuesto a COL 0.285 mg/l / 96 h, Grupo 8: COL 0.516 mg/l/96 h, Grupo 9: COL 0.774 mg/l/96 h; Grupo 10: Expuesto a (Ciclofosfamida) CP (Baxter) 25 mg/l/24h, Grupo 11: CP50 mg/l / 24h, Grupo 12: CP 100 mg/l /24h, Grupo 13: CP 25 mg/l /96h, Grupo 14: CP 50 mg/l /96 h, y Grupo 15: CP 100/mg/l/96 h . (Rodríguez-Cea et al 2003).</p>	<p>Cuando <i>X. melanosoma</i> fue expuesta a genotóxicos como la COL (Colchicina) y CP (Ciclofosfamida), las frecuencias de EMN fueron cerca de 40 EMN/10,000, lo que indica que en caso de que hayan agentes micronucleogénicos en el Lago, la concentración es muy baja.</p>	FLORES, Lola Paulina, et al. Micronúcleos y anomalías nucleares en el <i>Goodeido Xenotocamelanosoma</i> del lago La Alberca en Michoacán, México, [en línea], 2008, p.641 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/Otrasinstituciones/FloresKehn(pp641-650)/641-650.pdf]

- <i>Goodea atripinis</i> - <i>Oreochromis mossambicus</i> . (Tilapia del mozambique)		Cuenca del Rio San Juan, Mexico	Metanol durante 1 Min.	La especie <i>Goodea atripinis</i> y <i>Oreochromis mossambicus</i> en el sitio Tecozautla en durante el periodo de esta investigacion a través de las pruebas de micronúcleos en sangre periférica y células epiteliales, no se detectaron diferencias significativas al comparar el porcentaje de micronúcleos entre los grupos testigos y tratados.	RICO, Miguel Ángel; SÁNCHEZ, Antonio Y QUESADA, Joel. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2004 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TS/EO/TSO-05.pdf
<i>Astyanax gr. bimaculatus</i> . (mojarra)	Laboratorio de bioensayos del Grupo de investigación sobre Reproducción y Toxicología de Organismos Acuáticos – GRITOX de la Universidad de los Llanos, Colombia		Tres dosis subletales (0.1, 1 y 10 µg/g pv) de fenantreno, 20 mg/g pv de ciclofosfamida.	El fenantreno en dosis subletales es un agente que genera genotoxicidad y citotoxicidad sobre los eritrocitos de sangre periférica de <i>Astyanax gr. bimaculatus</i> . Los resultados sugieren que la presencia de este hidrocarburo aromático policíclico en bajas dosis, puede generar aberraciones cromosómicas y daños citotóxicos en peces que estén expuestos a las concentraciones dichas en la investigación.	CORREDOR, Wilson. et.al. Inducción de micronúcleos y otras anomalías nucleares en <i>Astyanax gr. Bimaculatus</i> (Pisces: Characidae) expuestas a fenantreno, [en línea] En: ORINOQUIA SUPLEMENTO - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia, 2012, Vol. 16 – No. 2, p. 237-247 [consultado el 12 de Agosto de 2014] disponible en internet: http://www.researchgate.net/publication/262463623_Induction_of_micronuclei_and_other_nuclear_abnormalities_in_Astyanax_gr._bimaculatus_%28Pisces_Characidae%29_exposed_to_phenanthrene

<i>Oreochromis niloticus</i> (tilapia del nilo).	Laboratorio de Genética, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.		Los especímenes se expusieron a concentraciones crecientes (0,0, 0,2, 0,4 y 0,8 ppm) de dicromato de potasio.	Las frecuencias de las células con micronúcleos y <i>nuclear Buds</i> (Brotes nucleares) aumentaron con respecto al control, siendo significativa la diferencia entre el tratamiento con respecto al control, a los tres días de exposición al dicromato de potasio. Se concluyó el incremento de las frecuencias de micronúcleos y <i>nuclear buds</i> según la dosis de dicromato de potasio.	PRIETO, Zulita. et.al. Efecto genotóxico del dicromato de potasio en eritrocitos de sangre periférica de <i>oreochromis niloticus</i> (tilapia), [en línea] En: Rev Peru Med Exp Salud Publica, 2008, Vol 25, No.1, p.51-58 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFECTO_GENOTOXICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_(TILAPIA)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83IsATLgIH4Cw&ved=0CD0QFjAH&usg=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ
<p>-<i>Xenotoca melanosoma</i> (Mexcalpique negro)</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul)</p> <p>-<i>Chirostoma Consocium</i> (Charal de rancho)</p> <p>-<i>Chirostoma lucius</i> (Charal de laguna)</p> <p>-<i>Lepomis macrochirus</i> (Mojarra azul)</p> <p>-<i>Allophorus robustus</i> (goodeido Bulldog)</p>		Lago La Alberca, Mexico	Etanol al 80%	Se determina a la especie <i>Xenotoca melanosoma</i> como candidata para evaluarse como un posible indicador de contaminantes, ya que es una especie endémica, fácil de capturar y presentó el valor más alto de EMN espontáneos (3.7 ± 1.6), buena RC/N (Relación citoplasma núcleo 1.7:1) y cantidad excelente de EPC (Eritrocitos policromáticos) (29.5 ± 15).	TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf

<p>-<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> (Osteichthyes-Goodeidae)</p> <p>-<i>Chapalichthys encaustus</i></p> <p>-<i>Poeciliopsis Infans</i></p>					
<p>-<i>Percillia gillissi</i>, -<i>Trichomycterus areolatus</i> -<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha arcoiris)</p>		Río Cruces, Provincia de Valdivia, Chile	Etanol por 20 Minutos	El ensayo del cometa no evidenció daño clastogénico en eritrocitos nucleados en ninguna de las especies estudiadas. En el test de micronúcleos no se evidencia un aumento en la frecuencia de micronúcleos en eritrocitos nucleados provenientes de las 7 estaciones del río Cruces.	CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA CHILE. PROGRAMA DE MONITOREO ECOTOXICOLÓGICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES EN EL RIO CRUCES, PROVINCIA DE VALDIVIA CHILE. [en línea] Valdivia: Universidad de Concepción, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.sinia.cl/1292/articles-35166_Cap4.pdf
<p>-<i>Micropogonias furnieri</i> (Corvina rubia)</p> <p>-<i>Paralichthys orbignyanus</i></p> <p>-<i>Mugil platanus</i> (La lisa)</p> <p>-<i>Odontesthes argentinensis</i> (Pejerrey escardón)</p>		Estuarios Pando, Solís Chico y Solís Grande, zona costera de canelones, Uruguay.	Metanol durante 10 Minutos	La alta sensibilidad a los contaminantes, al igual que su gran abundancia en los tres estuarios se determina que la especie <i>O. argentinensis</i> es buena bioindicadora de daño genético para los estuarios que se estudiaron. La cual se puede emplear para futuros estudios de calidad ambiental.	GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf

<i>Danio rerio</i> . (Pez cebra)	Peceras divididas en tres lotes con contenido de aguas de pozo de la Universidad de Hidalgo, Mexico.		Control negativo, agua limpia (concentración de As total menor de 0,002 mg/l), Control positivo 5 mg/L de As y en control experimental (concentración de As total de 0,48 mg/l	Los resultados indicaron que el As generó el mayor daño genotóxico y teratogénico en células de branquias y en descendientes del pez cebra, a concentraciones subletales.	PRIETO, Francisco. et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (<i>Daniorerio</i>), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p. 72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf
- <i>Prochilodus magdalenae</i> , (Bocachico) - <i>Oreochromis sp.</i> (Tilapia)	Estación piscícola de la Universidad de Antioquia (San José del Nus, Antioquia), Colombia.		0.001, 0.003 y 0.027 mg/l de cloruro de mercurio (HgCl ₂)	Los resultados muestran que el bocachico es más sensible que la tilapia al cloruro de mercurio, esto puede basarse en varios mecanismos. El bocachico es una especie nativa que no ha sido intervenida genéticamente, en cambio la tilapia es un híbrido que sí ha sido intervenido. Esto puede causar diferencias en los mecanismos de detoxificación y reparación a los efectos genotóxicos de metales pesados.	PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (<i>Prochilodusmagdalenae</i> Y <i>Oreochromis</i> sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111, [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba2003v25n79art2.pdf

<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo)	Laboratorios, Universidad de Londrina, Paraná, Brasil.		Metanol durante 10 Minutos.	El Test de micronúcleos en <i>O. niloticus</i> y el ensayo cometa evidenciaron que el agua recolectada en los tres puntos en la Corriente Córrego dos Brages fue significativamente genotóxica en comparación con el agua de mejor calidad utilizando un control negativo.	MATSUMOTO, Silvia. et.al. Genotoxicity and Mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish <i>Oreochromis niloticus</i> and chromosome aberrations in onion root-tips, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2006, Vol 29, No.1, p.148-158 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.br/pdf/gmb/v29n1/28185.pdf
- <i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo) - <i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul) - <i>Tilapia zilli</i> , (Mojarra) - <i>Clarias gariepinus</i> (bagre africano)		Rio nilo (Shubrakhit), abou homos, Kafr Eldawar (Barsiwqe) y el lago Mariout, en Egipto.	2, 5, 10, o 40 mg/kg b.wt. de ciclofosfamida	Los resultados evidencian que las diferentes especies de peces responden de manera completamente diferente a un genotóxico dado	ALI, Fagr Kh; EL-SHEHAWI, A.M y SEEHY, M.A. Micronucleus test in fish genome: A sensitive monitor for aquatic pollution [en línea]. En: African Journal of Biotechnology, 4 de Marzo, 2008, Vol 7, No. 5, p. 606-612, [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/58485/46829
<i>Channa punctatus</i> (Cabeza de serpiente manchada)	Acuarios de laboratorio		250µ / L, 125µ / L, 67,5 / L. µ y 25 µ / l de malatión, y 10 µ / l, 5 µ / l, 2.5µ / L y 1µ / l de clorpirifos	Los micronúcleos (MN) inducidos por Malatión y Clorpirifós en los eritrocitos periféricos fueron en general puntos conformados que se encontraban cercanos del núcleo principal, con tamaño y forma variados entre células.	PRADIPTA, Sarangi. Micronucleus assay: a sensitive indicator for aquatic pollution [en línea]. En: International Journal of Research in BioSciences. Octubre, 2012, Vol. 1, No. 2, p. 32-37 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ijrbs.in/download.php?file=32-37.pdf PRIETO, Francisco; et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (<i>Daniorerio</i>), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p.

					72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf
<p>-<i>Prochilodus nigricans</i> (Boquichico),</p> <p>-<i>Mylossoma duriventris</i> (palometa)</p> <p>-<i>Hoplias malabaricus</i> (La talarira).</p>		Rios Madeira y Solimoes, Brasil.	<p><i>Prochilodus nigricans</i> (Boquichico), de 0 a 0.96 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Hg, en el rio Madeira</p> <p><i>Mylossoma duriventris</i> (palometa), de 0 a 0.12 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Hg, en el rio Madeira</p> <p><i>Hoplias malabaricus</i> (La talarira), de 0.08 a 1.06 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Hg, en el rio Madeira</p> <p>Etanol por 20 Minutos Metanol por 10 Minutos</p>	Las Frecuencias de MN se elevaron casi de cuatro veces en <i>P. nigricans</i> y <i>M. duriventris</i> y aproximadamente 30 veces en <i>H. malabaricus</i> del rio Madeira. En cuanto a los sitios de muestreo (contaminado vs. Referencia sitios) arrojaron diferencias significativas en las tres especies.	PORTO, Jorge; ARAUJO, Cleusa y FELDEBERG, Eliana. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species, [en línea] En: Environmental Research, Marzo, 2005, Vol 97, No. 3, p.287-292 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.albuw.ait.ac.th/group_r/mercury/report-3/pdf_link/mutagenic_effect.pdf

<p>-<i>Cyphocharax magdalenae</i> (La yalúa),</p> <p>-<i>Prochilodus Magdalena</i> (Bocachico)</p> <p>-<i>Astyanax caucanus</i> (Mojarra caucana)</p> <p>-<i>Astyanax sp.</i> (Mojarra),</p> <p>-<i>Triportheus magdalenae</i>, (Arenca)</p> <p>-<i>Ctenolucius hujeta</i> (Barracuda de agua dulce)</p> <p>-<i>Trachelyopterus insignis</i>, (Tapa olla))</p> <p>-<i>Eigenmania virescens</i> (El pez cuchillo)</p>		<p>Ciénaga de Cachimbero (Santander) y Ciénaga de Ayapel (Córdoba), Colombia</p>	<p>Metanol por 5 Minutos</p>	<p>La frecuencia media de micronúcleos varió entre 1,41 para <i>T. insignis</i> y 3,75 para <i>C. magdalenae</i>. El número máximo de micronúcleos encontrados fueron para <i>Ctenolucius Sujeta</i> (7 nmm) y <i>Cyphocharax magdalenae</i> (10,5).</p>	<p>PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. : Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia [en línea] En: Actual Biol, 2009, Vol 31, No. 90, p. 67-77, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n90/v31n90a6.pdf</p>
--	--	--	------------------------------	--	--

<i>Astyanax bimaculatus</i> (Characidae) (Mojarra)		Laboratorios de la Universidade estadual de londrina, Brasil	16 mg/kg de ciclofosfamida, y 8 mg/kg de sulfato de vinblastina.	Puesto que el análisis citológico no evidenció diferencias en las frecuencias de MN en preparaciones teñidas con Giemsa o Reactivo de Schiff, los datos fueron combinados para el análisis estadístico. No se presentaron diferencias significativas en la frecuencia de MN entre las diferentes dosis de sulfato de vinblastina utilizados.	MATSUMOTO, F.E y CÔLUS, I.M.S. Micronucleus frequencies in <i>Astyanax bimaculatus</i> (Characidae) treated with cyclophosphamide or vinblastine sulfate, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2000, Vol 23, No. 2, p.489-492 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.scielo.br/pdf/gmb/v23n2/2772.pdf
<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum (Trucha arcoriris)	Estación de piscicultura en Gracani, Croacia.		95% de Metanol por 3 minutos	Los micronúcleos son consecuencia de aberraciones cromosómicas numéricas, pero se demostró que una aplicación temprana de choque térmico en los huevos de peces tiene consecuencia indirecta en la 1er aparición de micronúcleos.	STRUNJAK, I; COZ, R y TOPIC, N. Micronucleus occurrence in diploid and triploid rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum), [en línea] En: Vet. Med. – Czech, 2003, Vol 48, No.8, p. 215–219 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://vri.cz/docs/vetmed/48-8-215.pdf
<i>Eremophilus mutisii</i> (El capitán de la sabana)		Rio Bogota	Gotas de metanol	Con esta investigación se espera generar información para caracterizar la problemática del uso de plaguicidas en la cuenca alta del rio Bogotá	SALCEDO, Alejandra, et al. Plaguicidas en el río Bogotá: efecto en el pez capitán y en la población que lo consume, [en línea]. Bogotá D.C: Fundación al verde vivo, Universidad del Rosario, Instituto Nacional de Salud, Universidad Nacional de Colombia, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://alverde vivo.org/SitioAntiguo/Documentos/PROYECTO%20PESTICIDAS%20PEZ%20CAPITAN.pdf

<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del Nilo)</p>		<p>Laguna de Sonso, Valle del Cauca, Colombia.</p>	<p>La concentración de cromo (valores en mg/kg), en estaciones seca y humeda, en branquias fue de $0,0543 \pm 0,0001$ y $0,027 \pm 0,002$ respectivamente, en hepatopáncreas fue de $0,018 \pm 0,005$ y $0,759 \pm 0,081$ respectivamente y en agua no fue detectable.</p> <p>La concentración de plomo (valores en mg/kg), en estaciones seca y humeda, en branquias fue de $0,045 \pm 0,003$ y $0,029 \pm 0,003$ respectivamente, en hepatopáncreas fue de $0,037 \pm 0,005$ y $0,066 \pm 0,004$ respectivamente, y en agua no fue detectable.</p> <p>La concentración de mercurio (valores en mg/kg), en la estación seca en branquias fue de $0,009 \pm 0,001$ y en la estación humeda no se detectó, en hepatopáncreas fue de $0,036 \pm 0,003$ y $0,030 \pm 0,003$ respectivamente, y en agua no se detectó.</p>	<p>-Los indicadores empleados en esta investigación concordaron en sus resultados significativamente, con lo cual se evidencia que es mas exacto un estudio cuando se emplea más de un biomarcador.</p> <p>-Respecto a los resultados químicos, se muestra de forma general que no se superan los límites impuestos para esta especie, aunque se cuenta con información donde dice que, hasta en bajas concentraciones los metales pueden ser tóxicos y dañinos.</p>	<p>CÁCERES, Paolín; TELLO, Ángela y TORRES Gerardo. Uso de biomarcadores genotóxicos e histopatológicos para evaluar el efecto de los metales en la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> L. I.) presente en la laguna de sonso (valle del cauca), [en línea] En: Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.), 2010, Vol 22, p. 109-121 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/download/revistas/2010(2)/art9.pdf</p>
--	--	--	---	--	--

<i>Ancistrus brevifilis</i>		Rio Manzanares, Venezuela	5 ppm de Glisofato	El ensayo de toxicidad aguda con glifosato pudo evidenciar consecuencias dañinas sobre la molécula de ADN en células sanguíneas del pez <i>A. brevifilis</i> , a pesar de las diferentes afirmaciones que señalan la corta actividad biológica del herbicida.	LÁREZ, Carol Yovana. Genotoxicidad en células sanguíneas de la guaraguara <i>Ancistrusbrevifilis</i> (Eigenmann, 1920), bajo condiciones controladas y en condiciones naturales en dos localidades del rio manzanares, estado sucre, Venezuela, [en línea], Trabajo de grado Magister scientiarum en biología aplicada mención ecotoxicología. Cumaná: Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias, 2011. Resumen, p.14 y 28 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2267/1/Pg-LarezCarol.pdf].
- <i>Pimelodus maculatus</i> (Bagre Amarillo) - <i>Leporinus friderici</i> (Leporino manchado)		Rio paraguay en el pantanal brasileño, Caceres, Mato Grosso, Brasil	0.97 mg/L de Cromo	"Distintas especies de peces pueden responder de modos diferentes a un determinado agente genotóxico. Así, cuando se comparan las tasas de MN y MNC inducidas en <i>P. maculatus</i> y <i>L. Friderici</i> eritrocitos en los sitios 1 y 3 en la temporada seca, las tasas más altas se verificaron en <i>P. maculatus</i> , demostrando que es un centinela más sensible."	SARTINI, Vania María, et.al. In situ assessment of the Paraguay River Water, in Brazilian Pantanal, by means of Micronucleus Assay with Fish and chemical analysis, [en línea] En: Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Abril, 2013, Vol 90, No. 4, p.427-433 [Consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=da2cd672-24ed-4cc5-83ce-d3182de6882e%40sessionmgr4005&vid=1&hid=4113

<i>Cyprinus carpio</i> (La carpa común)	Laboratorio de Toxicología Acuática, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, y Laboratorio de Toxicología Ambiental, Facultad de Química, UAEMex, Mexico.		0.001 mg/L y 0.01 mg/L de Hg	El Hg es un agente genotóxico y citotóxico, puesto que se evidenció un aumento en la frecuencia de micronúcleos, como también en la proporción de células apoptóticas en los eritrocitos de la carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>), el deterioro en los dos casos depende de la concentración y el tiempo de exposición	NÚÑEZ, Judith Angélica, et al. Daño genotóxico y citotóxico producido por mercurio sobre células sanguíneas de (<i>Cyprinus carpio</i>), [en línea], México D.F: UAEMex, [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ameqa.org/AMEQA/V_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20B03.pdf
<i>Salmo trutta fario</i> (Trucha marrón)	Laboratorio de antropogenética y laboratorio de ecología, Universidad libre, Bruselas, Belgica		780 y 918 pg PCB77 (bifenilos policlorados) /ml agua	Los datos señalan que el PCB77 (Bifenilos policlorados) no genera roturas de cadenas dobles o individuales que se puedan detectar con la el Test de micronúcleos y el ensayo cometa, en los eritrocitos de trucha marrón.	BELPAEME, K. et.al. Cytogenetic studies of PCB77 on Brown trout (<i>Salmo trutta fario</i>) using the micronucleus test and the alkaline comet assay, [en línea] En: Mutagénesis, 1996, vol.11 No.5 p.485-492, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://mutage.oxfordjournals.org/content/11/5/485.full.pdf
<i>Dicentrarchus labrax</i> (Róbalo)	Laboratorios de universidade do porto, Portugal.		10 mg kg ⁻¹ de PHE (Fenantreno) y 10 µM de NO ₂ – de Nitrito de sodio	Para identificar la capacidad genotóxica del PHE (Fenantreno) y sus metabolitos se estudió la presencia de micronúcleos en los eritrocitos de róbalo. La exposición al PHE generó un incremento significativo en la cantidad de micronúcleos a los 3 y 6 días (tres veces y cinco veces más, respectivamente) de exposición a este PAH. Cabe resaltar que con la	REIS, MA. et al. Phenanthrene and nitrite effects on juvenile sea bass, <i>Dicentrarchus labrax</i> , using hepatic biotransformation enzymes, biliary fluorescence, and micronuclei as biomarkers [en línea]. En: Ciencias Marinas, 2009, Vol 35, No. 1, p. 29–40 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v35n1/v35n1a3.pdf

				presencia de NO ₂ – en el agua no hubo modificaciones en la cantidad de micronúcleos.	
<i>Channa punctatus</i> (Cabeza de serpiente manchada)	Laboratorios Oficina Nacional de Recursos Genéticos de Peces, Canal Ring Road, India		Tres concentraciones subletales del Malatión: 1.48, 0.74, and 0.59 ppm	Los resultados de este trabajo en cuanto a la genotoxicidad potencial del malatión indica una gran preocupación por su peligro potencial para los organismos acuáticos, en especial para los peces, y de forma indirecta a las personas.	KUMAR, Ravindra. et al. Investigation of the genotoxicity of Malathion to freshwater Teleost Fish <i>Channa punctatus</i> (Bloch) Using the Micronucleus Test and Comet Assay [en línea]. En: Arch Environ Contam Toxicol, 2010, Vol. 58, p. 123–130 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=5570bbfa-fe22-4246-ac8e-eeb28f08ba40%40sessionmgr4002&hid=4105
<i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común)	Planta de potabilización de Castiglione del Lago (Perugia, Italia), Laboratorio de Ecología Experimental y Acuicultura, Universidad de Roma		Octubre del 2000: 1.24 ± 0.19 mg/l de NaClO, 1.64 ± 0.21 mg/l de ClO ₂ y 1.00 ± 0.19 mg/l de PAA (Acido peracético) Febrero del 2001: 0.71 ± 0.06 mg/l de NaClO, 1.63 ± 0.22 mg/l de ClO ₂ y 0.61 ± 0.04 mg/l de PAA Junio del 2001: 0.55 ± 0.09	No hay diferencias significativas en ningún experimento en la frecuencia de micronúcleos entre las poblaciones de peces en las cuatro cuencas en el tiempo 0, es decir justo antes del comenzar la exposición al agua desinfectada; se evidencia uniformidad en las condiciones de partida.	BUSCHINI, A, et al. Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of <i>Cyprinus carpio</i> specimens exposed in situ to lake waters treated with disinfectants for potabilization [En línea] En: Mutation Research, 2004, Vol 557, p. 119-129 [consultado el 17 de Abril de 2015.] Disponible en internet: http://www.researchgate.net/profile/Annamaria_Buschini/publication/8915251_Comet_assay_and_micr

			mg/l de NaClO, 1.84 ± 0.05 mg/l de ClO ₂ y 0.90 ± 0.05 mg/l de PAA.		onucleus_test_in_circulating_erythrocytes_of_Cyprinus_carpio_specimens_exposed_in_situ_to_lake_waters_treated_with_disinfectants_for_potabilization/links/00463539594dfeab1c000000.pdf.
<i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)	Laboratorio de biología de peces, Universidad de Asiut, Asiut, Egipto.		Tres concentraciones subletales: 0, 0.05, 0.08 y 0.1 mg/l del 4-nonilfenol	Los resultados revelaron que el 4-nonilfenol es altamente tóxico para el bagre <i>C. gariepinus</i> . La toxicidad del 4-nonilfenol en el bagre se incrementó con el aumento de sus concentraciones.	MEKKAWY, Imam A; MAHMOUD, Usama M y SAYED, Alaa El-Din. Effects of 4-nonylphenol on blood cells of the African catfish <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822) [en línea]. En: Tissue and Cell. Agosto, 2011, Vol. 43, No. 4, p. 223–229 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816611000474?
<i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)	Laboratorio húmedo de pesca, Universidad de Nigeria Nsukka, Nigeria.		Dos concentraciones subletales: 5.35 y 10.70 mg/l de praziquantel.	Los resultados del presente estudio indican que la exposición de <i>C. gariepinus</i> a PZQ dio lugar a la inducción de micronúcleos y a cambios en los parámetros hematológicos y bioquímicos.	NWANI, Christopher. et al. Mutagenic and physiological responses in the juveniles of African catfish, <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell 1822). following short term exposure to praziquantel. [en línea]. En: Tissue And Cell. Agosto, 2014, Vol. 46, No. 4, p. 264-273, [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816614000482?

<i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)	Laboratorios de la Universidad de Asiut Egipto.		Dos concentraciones subletales: 0.16 y 0.49 mg/L del plaguicida carbofurano.	Los resultados muestran que la exposición del bagre africano <i>Clarias gariepinus</i> a concentraciones subletales de carbofurano (0.16 and 0.49 mg/L) dio lugar a muchas alteraciones morfológicas en eritrocitos y se generaron algunos tipos de células patológicas.	HARABAWY, Ahmed S.A. e IBRAHIM, Ahmed. Th.A. Sublethal toxicity of carbofuran pesticide on the African catfish <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822): Hematological, biochemical and cytogenetic response [en línea]. En: Ecotoxicology and Environmental Safety. Mayo, 2014, Vol. 103, p. 61–67 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651313004077
<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia nilótica)	Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Benha, Egipto		5 ppm y 1 ppm del Malatión	El tamaño y la posición de los micronúcleos en el citoplasma mostraron una ligera variación y, generalmente un micronúcleo por célula era observado. El malatión indujo un aumento significativo ($P < 0.05$) en la frecuencia de MN en el grupo Gr3 (alimentados con una dieta comercial estándar) en comparación con un grupo de control de placebo (C) ($9,00 \pm 0,83$ vs. $2,60 \pm 0,40$), lo que confirma su potencial genotóxico para los peces.	KANDIEL, Mohamed M.M. et al. Modulation of genotoxicity and endocrine disruptive effects of malathion by dietary honeybee pollen and propolis in Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) [en línea]. En: Journal Of Advanced Research. Noviembre, 2014, Vol. 5, No. 6, p. 671-684 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S2090123213001367?

<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica) y <i>Mugil cephalus</i> (Mujol)		Lago Qaroun, Egipto	0.37 ± 0.11 A mg/l de Cobre, 0.38 ± 0.10 A de Zinc, 0.21 ± 0.08 A de Plomo, 1.78 ± 0.30 A de Hierro, y 0.06 ± 0.01 B de Manganese.	Hubo diferencias altamente significativas en la frecuencia de MN en ambas especies de peces recogidos de los sitios de estudio. Ambas especies se recolectaron del lago Qaroun y los cultivos de peces a su alrededor mostraron un aumento significativo en la frecuencia de MN en comparación con los peces muestreados en el sitio de referencia.	OMAR, Wael A. et al. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, <i>Oreochromis niloticus</i> and <i>Mugil cephalus</i> , from highly degraded aquatic habitats [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Julio, 2012, Vol. 746, No. 1, p. 7-14. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571812000770?
<i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo) , <i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)		Rio Anambra (Nigeria)	Concentraciones en peces: (µg/g) Metales pesados: Cadmio 0.003 ± 0.001–0.006 ± 0.002, Cromo ND–0.001 ± 0.00, Cobre 0.095 ± 0.11–0.139 ± 0.16, Niquel 0.0015 ± 0.001–0.0018–0.001, Plomo 0.001 ± 0.00–0.002 ± 0.001, Zinc 0.480 ± 0.19–0.550.26 0.196 ± 0.12–0.77 ± 0.00, Arsenico ND–0.002 ± 0.00, Hidrocarburos aromáticos:	El estudio mostró que en general la incidencia de micronúcleos en las especies de peces (<i>Clarias Synodontis</i> y <i>Tilapia nilotica</i>) son excelentes biomarcadores para la vigilancia de la contaminación de agua dulce. Esto es así ya que los peces criados bajo condiciones ideales (control), aparentemente muestran niveles insignificantes de micronúcleos.	OBIAKOR, M.O.; OKONKWO, J.C, Y EZEONYEJIAKU, C.D. Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by in vivo micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes. [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. Diciembre, 2014, Vol. 775-776, p. 20-30 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571814002599?

			<p>políciclicos (HAP)</p> <p>Naftalina 0.016 ± 0.16–0.026 ± 0.03 ,</p> <p>Acenafteno 0.005 ± 0.003–0.006 ± 0.004,</p> <p>Fluoreno 0.008 ± 0.008–0.019 ± 0.01,</p> <p>Fenantreno ND–0.003 ± 0.002</p> <p>Antraceno 0.012 ± 0.008–0.007 ± 0.006,</p> <p>Pireno 0.007 ± 0.006–0.013 ± 0.01 ,</p> <p>Fluoranteno 0.004 ± 0.003–0.005 ± 0.005 ,</p> <p>Benz [a] pireno 0.015 ± 0.204–0.018 ± 0.032</p> <p>(ND) No detectable</p>		
<i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)	Alaba International Electronics Market, Ojo, Lagos, Nigeria.		<p>Amoniaco 24.6 17.79 37.2 33.9 31.8 471.3 0.03 1,</p> <p>Fosfatos ND ND 0.24 0.51 ND 0.78 5 2</p> <p>Nitratos ND ND 0.12 0.23 ND 285.6 10 10</p> <p>Sulfatos ND ND 0.16 0.25 ND 5.69 - -</p> <p>Plomo ND ND 0.19 0.11 0.21 1.6 0.02 0.05</p> <p>Cadmio ND ND 1.10 1.42 0.61 44.48 0.01 0.2</p> <p>Cromo ND ND ND ND ND 18.64 0.1 0.05</p> <p>Cobrer ND 0.04 0.12 ND 0.16 42.15 1.3 0.5</p> <p>Iron 4.85 5.05 5.65 1 5 134.01 0.3 -</p>	Los lixiviados de desechos electrónicos y el agua de pozo contaminada indujo cytogenotoxicidad en <i>C. gariepinus</i> . Los metales pesados y compuestos orgánicos presentes en las muestras analizadas provocaron el daño observado ADN a través de la formación de ROS.	BAKARE, Adenkule A. et.al. In Vivo Cytogenotoxicity and Oxidative Stress Induced by Electronic Waste Leachate and Contaminated Well Water [en línea]. En: Challenges. Julio, 2013, Vol. 4, p. 169-187 [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105

			Manganesio 0.05 0.03 0.23 0.2 0.25 30.1 0.05 0.2 Niquel ND ND ND ND ND 11.42 - - Zinc 0.63 0.96 1.13 0.25 0.26 54.62 5 - Plata ND ND ND ND ND 17.29 0.1 - Arsenico ND ND ND ND ND 4.82 - - (ND) No detectable		
<i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo) , <i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)	Laboratorios de Universidad de Nnamdi Azikiwe, Nigeria		Cobre y Zinc: 0.25LC50, 0.125LC50 and 0.0625LC50 Cobre: 0.65mg/l Zinc: 3.79mg/l.	El estudio mostró el efecto genotóxico de la mezcla única y binaria de Cu y Zn, incluso a exposición a corto plazo y su no dependencia de la dosis. Esta era una desviación significativa cuando los niveles de toxicidad de las mezclas se compararon con los niveles de toxicidad de los metales individuales.	OBIAKOR, M. O. et al. Genotoxicology: Single and Joint Action of Copper and Zinc to <i>Synodontis clarias</i> and <i>Tilapia nilotica</i> . [en línea]. En: Journal Of Applied Sciences & Environmental Management. Septiembre, 2010, Vol. 14, No. 3, p. 59-64. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105

<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica)	Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de El Cairo, Egipto		Cuatro concentraciones de montmorillonita (0.5, 1, 2 y 4 mg / L solución acuosa) y tres concentraciones de esterigmatocistina (5, 10 y 50µg / ml)	Los resultados de este estudio indican que EM tiene una alta afinidad por Stg in vitro, formando una adsorción compleja que era estable bajo diferentes pHs a 37 °C. Además, la estabilidad de este complejo era muy alta cuando se extrajo con diferentes disolventes orgánicos.	ABDEL-WAHAB, Mosaad A. et al. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (<i>Oreochromis niloticus</i>). [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Abril, 2005, Vol. 582, No. 1 – 2, p. 20 – 27 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571804003596?
<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica)			Dos cepas patógenas de hongos zoosporic (<i>Achlya klebsiana</i> y <i>Aphanomyces laevis</i>), Se expuso a los peces a una dosis de cada cepa	La tilapia del Nilo expuesta al hongo zoosporic sometido a las pruebas de MN, LN y CA mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al control de los testigos. También, aumentó significativamente (p <0,001) en micronúcleos y frecuencias de lesiones nucleares y el porcentaje del daño en el ADN se registró con el aumento de la exposición en el tiempo.	OSMAN, A. et al. Genotoxicity of two pathogenic strains of zoosporic fungi (<i>Achlya klebsiana</i> and <i>Aphanomyces laevis</i>) on erythrocytes of Nile tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> . [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2010, Vol. 73, No. 1, p. 24-31 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651309001808?

<i>Carassius auratus</i> (Carpín dorado)	Universidad de Uludag, Bursa, Turquía		5, 10 and 15 µg/L de Atrazina	El tratamiento con atrazina no causó aumentos significativos en las frecuencias de eritrocitos micronucleados. El tratamiento con Gesaprim indujo significativamente la frecuencia de micronúcleos en todos los grupos experimentales con respecto a la grupo de control ($P < 0,05$) con las excepciones de 5 y µg / l en el segundo día ($P > 0,05$).	CAVAS, Tolga. In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish <i>Carassius auratus</i> using the micronucleus test and the comet assay. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Junio, 2011, Vol. 49, No. 6, p.1431-1435 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0278691511001219?
<i>Channa punctatus</i> (Bloch) (Cabeza de serpiente manchada)	Oficina Nacional de Recursos Genéticos de peces (Consejo Indio de Investigación Agrícola),		Tres concentraciones subletales de Rasayansine, un herbicida atrazina: SL-I (1/5th LC50 = ~8.48mgL ⁻¹), SLII (1/8th LC50 = ~5.30mgL ⁻¹) and SL-III (1/10th LC50 = ~4.24mgL ⁻¹)	El daño en el ADN medido como % de ADN de la cola en el eritrocito y células de branquias de control y grupos de tratamiento indicaron que los peces expuestos para el control positivo y a diferentes concentraciones de atrazina evidenciaron daños significativamente mayores de ADN ($p < 0.01$) en sus tejidos que en las muestras control negativo.	NWANI, C.D. et al. Mutagenic and genotoxic assessment of atrazine-based herbicide to freshwater fish <i>Channa punctatus</i> (Bloch) using micronucleus test and single cell gel electrophoresis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Marzo, 2011, Vol. 31, No. 2, p. 314-322 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668910002085?

<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (locha)	Laboratorios Universidad Normal de Henan, Xinxiang, Henan 453007, China		14.37, 21.48, 32.23, 48.34 y 72.58 mg l ⁻¹ , de 8- hidroxilquinoleína 3.629, 7.258, 10.887 y 14.516 mg l ⁻¹ de 8- hidroxilquinoleína	La frecuencia de MN fue mayor con el aumento de las concentraciones de 8-HOQ, y mostró una relación evidente dosis-efecto. Además, estas diferencias fueron significativas y se correlacionaron con la longitud de tiempo de exposición el cual muestra una relación tiempo-efecto.	NAN, Ping. et al. Genotoxic effects of 8-hydroxyquinoline in loach (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>) assessed by the micronucleus test, comet assay and RAPD analysis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Mayo, 2013, Vol. 35 No. 3, p. 434-443. [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668913000215?
<i>Carassius auratus auratus</i> (Carpín dorado)	Laboratorios Universidad de Mersin, Turquía		1 lg/, 5 lg/L y 10 lg/L de Cloruro de mercurio, 10 lg/L, 50 lg/L and 100 lg/L de Acetato de plomo	Los resultados de este estudio demostraron que los peces de colores no sólo es una importante especie de peces ornamentales, sino también un modelo útil para estudios biológicos y aunque muchas especies de peces son poliploides y su cariotipo no es estable, los resultados de estudios previos demostraron la estabilidad cariotípica de <i>Carassius auratus auratus</i>	ÇAVAŞ, Tolga. In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: Micronucleus test on acridine orange stained fish cells. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Enero, 2008, Vol. 46, No. 1, p. 352-358 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S027869150700302X?

<i>Oreochromis mossambicus</i> (Tilapia del Mozambique)	Laboratorios de Universidad Dhaka, Bangadlesh		3 ppm, 28 ppm y 56 ppm de Arsénico	La exposición a diferentes concentraciones de NaAsO ₂ aumentó significativamente la frecuencia MNi en las muestras de peces expuestos más que en el grupo control a las 96 h y 192 h de exposición, mientras que, hubo una tendencia de disminución en la frecuencia MNi después de 192 h de exposición dentro de los grupos de concentración.	AHMED, Kawser. et al. Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>) using alkaline comet assay and micronucleus test. [en línea]. En: Chemosphere. Junio, 2011, Vol. 84, No.1, p.143-149. [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653511001585?
<i>Cyprinus carpio</i> L. (Carpa común)	Laboratorios de Universidad Gazi, Turquía		10 mg/L de Fenitrotión	El tratamiento con fenitrotión aumentó significativamente la frecuencia de micronúcleos (6,43 ± 3,89%) en comparación con el grupo control (1,29% ± 1,03), y también se observaron anomalías nucleares en el grupo experimental.	SEPICI-DINCEL, Aylin. et al. Genotoxicity assessment of carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.) fingerlings by tissue DNA damage and micronucleus test, after environmental exposure to fenitrothion. [en línea] En: Toxicology Mechanisms and Methods. 2011, Vol. 21, No. 5, p. 388-392 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=27&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105

<i>Channa punctatus</i> (Cabeza de serpiente manchada)	Laboratorio de Gene-Tox, Universidad Musulmana Aligarh, India.		Tres dosis subletales de PCP , (Pentaclorofenol) 0.2, 0.4, y 0.6 ppm Tres dosis subletales de 2,4-D (ácido 2,4- diclorofenoxiacético): 25, 50, y 75 ppm	Se obtuvieron resultados significativos con PCP y 2,4-D en cuanto a la inducción de micronúcleos y otra alteraciones celulares en los eritrocitos de <i>C.</i> <i>punctatus</i> .	ABUL FARAH, M. et al. Evaluation of genotoxicity of PCP and 2,4-D by micronucleus test in freshwater fish <i>Channa punctatus</i> . [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2003, Vol. 54, No. 1, p. 25-29 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/scien ce/article/pii/S0147651302000374?
<i>Carassius auratus</i> (Pez de colores)	Laboratorios de Universitdad de Shizuoka y Universidad de Okayama		10 L de agua cruda o lixiviado tratado	La mutagenicidad de lixiviados crudos y tratados de vertederos se evaluó mediante la prueba de micronúcleos y el ensayo cometa utilizando peces de colores. Se sugirió una combinación de los dos bioensayos para que pueda ser una herramienta potencial para biomonitorear los mutágenos / carcinógenos en un ambiente acuático.	DEGUCHI, Yuya. et al. Evaluation of mutagenic activities of leachates in landfill sites by micronucleus test and comet assay using goldfish. [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic. 5 de Marzo, 2007, Vol. 627, No. 2, p.172- 185 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/scien ce/article/pii/S1383571806004013?

<i>Carassius Carassius L.</i> (El carpín)	Laboratorio de Pesca y Limnología, Centro de Investigación para el Desarrollo (CORD), Universidad de Cachemira, Srinagar, J & K, India		Tres concentraciones subletales de Endosulfán 0.052, II: 0.035 y III: 0.017 ppm)	La formación de micronúcleos (MN), autenticado por la exploración microscópica electrónica, y las aberraciones cromosómicas (AC), se indujeron de forma significativa ($p < 0,05$) en todo los grupos tratados, incluyendo el ciclofosfamida de control positivo (4 ppm), en comparación con el control negativo. Del mismo modo la peroxidación lipídica (LPO) se indujo significativamente con la máxima concentración (SL-I), el 4 día (722,45%; $p < 0,01$).	DAR, Sabzar. et al. Assessment of endosulfan induced genotoxicity and mutagenicity manifested by oxidative stress pathways in freshwater cyprinid fish crucian carp (<i>Carassius carassius L.</i>) [en línea]. En: Chemosphere. Febrero, 2015, Vol. 120, p. 273-283 [consultado el 30 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653514008911 ?
<i>Channa punctatus</i> (Cabeza de serpiente manchada)	Laboratorios Universidad Musulmana Aligarh, India		0.5, 1.0, 2.0 y 5.0 ppm de Cloruro de Cadmio	El presente estudio revela que el cadmio es un químico clastogénico que induce varias anormalidades cromosómicas y genera el aumento de células micronucleadas en los peces. Por lo tanto, se puede utilizar como un biomarcador para el monitoreo de la contaminación en el ambiente acuático.	PARVEEN, Nuzhat y SHADAB, G.G.H.A. Cytogenetic evaluation of cadmium chloride on <i>Channa punctatus</i> . [en línea] En: Journal Of Environmental Biology, Mayo, 2012, Vol. 33, No. 3, p. 663-666. [consultado el 30 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=23&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105

Tabla 3. De acuerdo al tejido analizado y al valor de MN

Localización Geográfica	Contaminantes	Tejido analizado	MN / # de células	Comentario	Referencia
Río Cuarto, Córdoba, Argentina.	Metanol	Muestras de sangre se tomaron mediante un corte en el pedúnculo caudal (Torres Bugarín y col. 2007),	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p><i>C. Carpio</i> 0.05 ± 0.12 % /1000 células</p> <p><i>C. interruptus</i> 0.04 ± 0.09 % /1000 células</p> <p><i>A. eigenmanniorum</i> 0.07 ± 0.22 % /1000 células</p> <p>% Frecuencia en mil</p>	<p>-No se evidenciaron diferencias significativas entre las especies icticas, en los eritrocitos micronucleados ($P > 0,05$).</p> <p>-Las frecuencias de micronúcleos fue muy baja en las tres especies.</p>	POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies icticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67, [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf .
Lago La Alberca en Michoacán, México	Ciclofosfamida o colchicina	Muestras de sangre, sacrificando a los individuos mediante un corte en la base de la aleta caudal (Hoofftman y de Raat 1982)	40 EMN (eritrocitos micronucleados) / 10,000,	Cuando <i>X. melanosoma</i> fue expuesta a genotóxicos como la COL(Colchicina) y CP(Ciclofosfamida), las frecuencias de EMN fueron cerca de 40 EMN/10,000, lo que indica que en caso de que hayan agentes micronucleogénicos en el Lago la concentración es muy baja.	FLORES, Lola Paulina, et al. Micronúcleos y anomalías nucleares en el <i>Goodeido Xenotocamelanosoma</i> del lago La Alberca en Michoacán, México, [en línea], 2008, p.641 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/Otrasinstituciones/FloresKehn(pp641-650)/641-650.pdf].

Cuenca del Río San Juan en el estado de Querétaro, y municipio de Tecozautla, Estado de Hidalgo, México.	Contaminantes presentes en la cuenca del Río San Juan y metanol.	Branquias	Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar 0.38 \pm 0.02 % /1000 células en <i>Prochilodus nigricans</i> como grupo de control y el grupo expuesto presentó una frecuencia de MN DE 2.1 \pm 0.09 /1000 células (exposición a mercurio) (Al-Sabti <i>et al.</i> 1993)	La especie <i>Goodea atripinis</i> y <i>Oreochromis mossambicus</i> en el sitio Tecozautla en durante el periodo de esta investigación a través de las pruebas de micronúcleos en sangre periférica y células epiteliales, no se detectaron diferencias significativas al comparar el porcentaje de micronúcleos entre los grupos testigos y tratados.	RICO, Miguel Ángel; SÁNCHEZ, Antonio Y QUESADA, Joel. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2004 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TS/O/TSO-05.pdf
Estación piscícola del Instituto de Acuicultura (IALL) de la Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.	Fenantreno, ciclofosfamida, aceite vegetal.	Muestras de sangre que se obtuvieron a través de punción de los vasos sanguíneos caudales de los peces.	Frecuencia de MN Entre 0 y 0.5% MN / 2000 células	El fenantreno en dosis subletales es un agente que genera genotoxicidad y citotoxicidad sobre los eritrocitos de sangre periférica de <i>Astyanax gr. bimaculatus</i> . Los resultados sugieren que la presencia de este hidrocarburo aromático policíclico en bajas dosis, puede generar aberraciones cromosómicas y daños citotóxicos en peces que estén expuestos a las concentraciones dichas en la investigación.	CORREDOR, Wilson. <i>et al.</i> Inducción de micronúcleos y otras anomalías nucleares en <i>Astyanax gr. Bimaculatus</i> (Pisces: Characidae) expuestas a fenantreno, [en línea] En: ORINOQUIA SUPLEMENTO - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia, 2012, Vol. 16 – No. 2, p. 237-247 [consultado el 12 de Agosto de 2014] disponible en internet: http://www.researchgate.net/publication/262463623_Induction_of_micronuclei_and_other_nuclear_abnormalities_in_Astyanax_gr._bimaculatus_%28Pisces_Characidae%29_exposed_to_phenanthrene

Centro piscícola de Guadalupe, Perú	Dicromato de potasio	Muestras de sangre del arco branquial de los peces	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Porcentaje en mil. (‰) 1,43 ‰ \pm 0,45/ 2000 células</p>	Las frecuencias de las células con micronúcleos y <i>nuclear buds</i> (Brotes nucleares) aumentaron con respecto al control, siendo significativa la diferencia entre el tratamiento con respecto al control, a los tres días de exposición al dicromato de potasio. Se concluyó el incremento de las frecuencias de micronúcleos y <i>nuclear buds</i> según la dosis de dicromato de potasio.	PRIETO, Zulita. et.al. Efecto genotóxico del dicromato de potasio en eritrocitos de sangre periférica de <i>oreochromis niloticus</i> (tilapia), [en línea] En: Rev Peru Med Exp Salud Pública, 2008, Vol 25, No.1, p.51-58 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/n/237490311_EFECTO_GENOTxICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_(TILAPIA)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83lsATLgIH4Cw&ved=0CD0QFjAH&usg=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ
Lago "La Alberca", Michoacán, México	Agentes genotóxicos presentes en el Lago "La Alberca", Michoacán, México y Etanol	Muestras de sangre que se obtuvieron mediante un corte en la base de la aleta caudal (Hooftman & de Raat, 1982)	<p>Eritrocitos micronucleados / 10.000 células</p> <p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p><i>Xenotoca melanosoma</i> 3.7 (\pm1.6) <i>Oreochromis aureus</i> 2.0 (\pm1.0) <i>Chirostoma consocium</i> 1.5 (\pm0.7) <i>Chirostoma lucius</i> 1.2 (\pm1.3) <i>Lepomis macrochirus</i> 1.2 (\pm1.6) <i>Allophorus robustus</i> 1.0 (\pm1.5) <i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> 0.8 (\pm1.2) <i>Chapalychthys encaustus</i> 0.7 (\pm1.0) <i>Poeciliopsis infans</i> 0.7 (\pm0.8) <i>Goodea atripinnis</i> 0.6 (\pm1.1)</p>	Se determina a la especie <i>Xenotoca melanosoma</i> como candidata para evaluarse como un posible indicador de contaminantes, ya que es una especie endémica, fácil de capturar y presentó el valor más alto de EMN espontáneos (3.7 \pm 1.6), buena RC/N (Relación citoplasma núcleo (1.7:1) y cantidad excelente de EPC (Eritrocitos policromáticos) (29.5 \pm 15).	TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf

Río Cruces, Provincia de Valdivia Chile	Contaminantes presentes en los efluentes Industriales en el Río Cruces, Provincia de Valdivia Chile y etanol	Muestras de sangre obtenidas de la vena de la aleta caudal de los especímenes estudiados	No detectado	El ensayo del cometa no evidenció daño clastogénico en eritrocitos nucleados en ninguna de las especies estudiadas. En el test de micronúcleos no se evidencia un aumento en la frecuencia de micronúcleos en eritrocitos nucleados provenientes de las 7 estaciones del río Cruces.	CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA CHILE. PROGRAMA DE MONITOREO ECOTOXICOLÓGICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES EN EL RIO CRUCES, PROVINCIA DE VALDIVIA CHILE. [en línea] Valdivia: Universidad de Concepción, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.sinia.cl/1292/articles-35166_Cap4.pdf
Estuarios Pando, Solís Chico y Solís Grande, zona costera de canelones, Uruguay.	Agentes mutagénicos presentes en los estuarios Pando, Solís Chico y Solís Grande y metanol	Muestras de sangre de los individuos (no se especifica de que parte del organismo se extrajo la sangre)	MN (micronucleos) Frecuencia de MN <i>-Odontesthes argentinensis</i> , Temporada 1: 0.58 %, 0.17% y 0.19% / 2000 células Temporada 2: 0.38%, 0.09 y 0.12% / 2000 células Temporada 3: 0.13% / 2000 células Temporada 4: 0.15 % / 2000 células Temporada 5: 0.18 % / 2000 células <i>-Paralichthys orbignyanus</i> : Temporada 1: ND (No detectable) Temporada 2: 0.26%, 0.10% y 0.18% / 2000 células Temporada 3: 0.19% y 0.08 % / 2000 células Temporada 4: 0.05% y 0.10% / 2000 células Temporada 5: ND	La alta sensibilidad a los contaminantes, al igual que su gran abundancia en los tres estuarios se determina que la especie <i>O. argentinensis</i> es buena bioindicadora de daño genético para los estuarios que se estudiaron. La cual se puede emplear para futuros estudios de calidad ambiental.	GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf

			<p>-<i>Mugil platanus</i> (La lisa) Temporada 1: ND Temporada 2: 0.09% y 0.08% / 2000 células Temporada 3: 0.09% / 2000 células Temporada 4: 0.09% / 2000 células. Temporada 5: 0.14 % /2000 células -Micropogonias furnieri (Corvina rubia) Temporada 1: ND Temporada 2: ND Temporada 3: ND Temporada 4: 0.18% / 2000 células Temporada 5: 0.27% / 2000 células</p>		
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México	Arsénico	Branquias	Frecuencia de MN. 10,2% MN / 1 000 células	Los resultados indicaron que el As generó el mayor daño genotóxico y teratogénico en células de branquias y en descendientes del pez cebra, a concentraciones subletales.	PRIETO, Francisco. et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (<i>Daniorerio</i>), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p. 72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf

Estación piscícola de la Universidad de Antioquia (San José del Nus, Antioquia), Colombia.	Cloruro de mercurio	Branquias	<p>Promedios de frecuencias de MN/1.000 células al día 7 de exposición a $HgCl_2$</p> <p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>-<i>Prochilodus magdalenae</i>, (Bocachico): 3.1\pm0, 15.0\pm0, 18.5\pm2.1, 17.5\pm0.7</p> <p>-<i>Oreochromis</i> sp.(Tilapia): 5.0\pm1.4, 12.0\pm2.8, 13.0\pm7, 13.0\pm1.4</p>	Los resultados muestran que el bocachico es más sensible que la tilapia al cloruro de mercurio, esto puede basarse en varios mecanismos. El bocachico es una especie nativa que no ha sido intervenida genéticamente, en cambio la tilapia es un híbrido que sí ha sido intervenido. Esto puede causar diferencias en los mecanismos de detoxificación y reparación a los efectos genotóxicos de metales pesados.	<p>PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (<i>Prochilodus magdalenae</i> y <i>Oreochromis</i> sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111, [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://matematicas.udea.edu.co/~ac tubiol/actualidadesbiologicas/raba2003v25n79art2.pdf</p>
Corrego dos Brages en el municipio Franca en el estado brasileño de São Paulo, Brasil.	Cromo	muestras de sangre se obtuvieron por punción de la cola	<p>Frecuencia de MN</p> <p>Control negativo: 0.03 % / 2000 células</p> <p>Sitio Rio arriba: 0.2% / 2000 células</p> <p>Sitio de descarga de efluentes: 0.45% / 2000 células</p> <p>Sitio Rio abajo: 0.26% / 2000 células</p>	El Test de micronúcleos en <i>O. niloticus</i> y el ensayo cometa evidenciaron que el agua recolectada en los tres puntos en la Corriente Córrego dos Brages fue significativamente genotóxica en comparación con el agua de mejor calidad utilizando un control negativo.	<p>MATSUMOTO, Silvia. et.al. Genotoxicity and Mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish <i>Oreochromis niloticus</i> and chromosome aberrations in onion root-tips, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2006, Vol 29, No.1, p.148-158 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.br/pdf/gmb/v29n1/28185.pdf</p>

Rio nilo (Shubrakhit), abou homos, Kafr Eldawar (Barsiwqe) y el lago Mariout, en Egipto.	Ciclofosfamida	Muestras de sangre de branquia y riñón e inyección de Ciclofosfamida en el músculo tronco.	<p>Sitio 4: Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>-<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo) Sangre: 2.2 ± 0.4 riñones: 1.8 ± 0.4 / 2000 células</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul) Sangre: 2.4 ± 0.41 riñones: 2.3 ± 0.3 / 2000 células</p> <p>-<i>Tilapia zilli</i>, (Mojarra) Sangre: 3.2 ± 0.52, riñones: 2.8 ± 0.4 / 2000 células</p> <p>-<i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano) Sangre: 12.2 ± 2.1, riñones: 8.7 ± 1.2 / 2000 células Dosis de 40 mg/kg.b.wt:</p> <p>-<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo) Sangre: 18.3 ± 2.1, riñones: 22.2 ± 2.4 / 2000 células</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul) Sangre: 12 ± 1.4, riñones: 18.2 ± 2.1 / 2000 células</p> <p>-<i>Tilapia zilli</i>, (Mojarra) Sangre: 22 ± 3.2, riñones: 30.4 ± 3.4 / 2000 células</p>	Los resultados evidencian que las diferentes especies de peces responden de manera completamente diferente a un genotóxico dado	ALI, Fagr Kh; EL-SHEHAWI, A.M y SEEHY, M.A. Micronucleus test in fish genome: A sensitive monitor for aquatic pollution: [en línea]. En: African Journal of Biotechnology, 4 de Marzo, 2008, Vol 7, No. 5, p. 606-612, [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/58485/46829
--	----------------	--	---	---	--

			- <i>Clariasga riepinus</i> : Sangre: 28.2±2.9, riñones: 42.4±3.2 / 2000 células		
Chandiput, Gajapati,(Odisha), India	Clorpirifós y Malatión	Muestras de sangre periférica extraída de la vena caudal de los peces.	Frecuencia de MN ± Desv. Estándar / 1000 células Exposición al Clorpirifós: Control:0.055±0.007 Dia 5: 0.499±0.036 Dia 10: 0.609±0.060 Dia 15: 0.722±0.069 Dia 20: 0.845±0.093 Dia 25: 0.947±0.093 Exposición al malatión: Control:0.055±0.077 Dia 5: 0.351±0.026 Dia 10: 0.451±0.039 Dia 15: 0.543±0.039 Dia 20: 0.633 ±0.051 Dia 25: 0.592±0.046	Los micronúcleos (MN) inducidos por Malatión y Clorpirifós en los eritrocitos periféricos fueron en general puntos conformados que se encontraban cercanos del núcleo principal, con tamaño y forma variados entre células.	PRADIPTA, Sarangi. Micronucleus assay: a sensitive indicator for aquatic pollution [en línea]. En: International Journal of Research in BioSciences. Octubre, 2012, Vol. 1, No. 2, p. 32-37 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ijrbs.in/download.php?file=32-37.pdf PRIETO, Francisco; et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (<i>Daniorerio</i>), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p. 72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf
Rios Madeira y Solimoes, Brasil.	Mercurio	Muestra de sangre mediante punción de la vena caudal.	Frecuencia de MN En el Rio madeira 0.038%, 0.037%, y 0.18% / 5000 células. En el Rio Solimoes 0.01%, 0.01%, y 0.006% % / 5000 células.	Las Frecuencias de MN se elevaron casi de cuatro veces en <i>P. nigricans</i> y <i>M.</i> <i>duriventris</i> y aproximadamente 30 veces en <i>H. malabaricus</i> del río Madeira. En cuanto a los sitios de muestreo (contaminado vs. Referencia sitios) arrojaron diferencias significativas en las tres especies.	PORTO, Jorge; ARAUJO, Cleusa y FELDEBERG, Eliana. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species, [en línea] En: Environmental Research, Marzo, 2005, Vol 97, No. 3, p.287- 292 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.albuw.ait.ac.th/group_r/mercury/report-3/pdf_link/mutagenic_effect.pdf

Ciénaga de cachimero (Santander) y ciénaga ayapel (Cordoba), Colombia.	Metanol	Branquias y muestras de sangre a través de la punción de la vena cardiaca o caudal	Frecuencia de MN 1.23% , 0.61%, 2.5%, 0.57%, 0.46% / 1000 células	La frecuencia media de micronúcleos varió entre 1,41 para <i>T. insignis</i> y 3,75 para <i>C. magdalenae</i> . El número máximo de micronúcleos encontrados fueron para <i>Ctenolucius Sujeta</i> (7 nmm) y <i>Cyphocharax magdalenae</i> (10,5).	PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. : Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia [en línea] En: Actual Biol, 2009, Vol 31, No. 90, p. 67-77, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n90/v31n90a6.pdf
Estación de piscicultura de la Universidade Estadual de Londrina, Brasil.	Ciclofosfamida y sulfato de vinblastina	Muestra de sangre a través de los vasos caudales.	Frecuencia de MN Exposición al Ciclofosfamida 0.31%, 0.57%, 1.22%, 2.53%, 0.60% / 3000 células Exposición al sulfato de vinblastina 0.31%, 1.13%, 0.96%, 1.21% / 3000 células	Puesto que el análisis citológico no evidenció diferencias en las frecuencias de MN en preparaciones teñidas con Giemsa o Reactivo de Schiff, los datos fueron combinados para el análisis estadístico. No se presentaron diferencias significativas en la frecuencia de MN entre las diferentes dosis de sulfato de vinblastina utilizados.	MATSUMOTO, F.E y CÓLUS, I.M.S. Micronucleus frequencies in <i>Astyanax bimaculatus</i> (Characidae) treated with cyclophosphamide or vinblastine sulfate, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2000, Vol 23, No. 2, p.489-492 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.scielo.br/pdf/gmb/v23n2/2772.pdf

Estación de piscicultura en Gracani, Croacia.	Contaminantes de la estación de piscicultura, entre ellos el amoníaco, y el metanol.	Huevos y esperma de los peces, y muestras de sangre de la vena caudal.	Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar En diploides de trucha arcoiris: 1.10 ± 0.96 , 1.80 ± 1.57 / 1000 células En triploides de trucha arcoiris 2.41 ± 1.28 , 5.92 ± 3.80 / 1000 células.	Los micronúcleos son consecuencia de aberraciones cromosómicas numéricas, pero se demostró que una aplicación temprana de choque térmico en los huevos de peces tiene consecuencia indirecta en la 1er aparición de micronúcleos.	STRUNJAK, I; COZ, R y TOPIC, N. Micronucleus occurrence in diploid and triploid rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum), [en línea] En: Vet. Med. – Czech, 2003, Vol 48, No.8, p. 215–219 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://vri.cz/docs/vetmed/48-8-215.pdf
Río Bogotá, Bogotá, Colombia	Plaguicidas presentes en el Río Bogotá y metanol	Branquias, Cerebro, Gónadas, Hígado, Músculo	No aplica ya que es un anteproyecto, no hay resultados en el documento.	Con esta investigación se espera generar información para caracterizar la problemática del uso de plaguicidas en la cuenca alta del río Bogotá	SALCEDO, Alejandra, et al. Plaguicidas en el río Bogotá: efecto en el pez capitán y en la población que lo consume, [en línea]. Bogotá D.C: Fundación al verde vivo, Universidad del Rosario, Instituto Nacional de Salud, Universidad Nacional de Colombia, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://alverde vivo.org/SitioAntiguo/Documentos/PROYECTO%20PESTICIDAS%20PEZ%20CAPITAN.pdf
Laguna de Sonso, Valle del Cauca, Colombia.	Cromo, Plomo y Mercurio	hepatopáncreas y branquia,	Frecuencia de MN / 2000 células Laguna de Sonso: 4.78% Río Patia: 0.15% Total: 3.11%	-Los indicadores empleados en esta investigación concordaron en sus resultados significativamente, con lo cual se evidencia que es más exacto un estudio cuando se emplea más de un biomarcador. -Respecto a los resultados químicos, se muestra de forma general que no se superan los límites impuestos para esta especie,	CÁCERES, Paolín; TELLO, Ángela y TORRES Gerardo. Uso de biomarcadores genotóxicos e histopatológicos para evaluar el efecto de los metales en la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> L. I.) presente en la laguna de sonso (valle del cauca), [en línea] En: Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.), 2010, Vol 22, p. 109-121 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.asociacioncolombianade cienciasbiologicas.org/download/revistas/2010(2)/art9.pdf

				aunque se cuenta con información donde dice que, hasta en bajas concentraciones los metales pueden ser tóxicos y dañinos.	
Rio manzanares, estado sucre, Venezuela.	Glisofato y sedimentos	Muestras de sangre mediante punción directa al corazón	Cantidad de MN Entre 2 y 3 MN / 1000 células.	El ensayo de toxicidad aguda con glifosato pudo evidenciar consecuencias dañinas sobre la molécula de ADN en células sanguíneas del pez <i>A. brevifilis</i> , a pesar de las diferentes afirmaciones que señalan la corta actividad biológica del herbicida.	LÁREZ, Carol Yovana. Genotoxicidad en células sanguíneas de la guaraguara <i>Ancistrusbrevifilis</i> (Eigenmann, 1920), bajo condiciones controladas y en condiciones naturales en dos localidades del rio manzanares, estado sucre, Venezuela, [en línea], Trabajo de grado Magister scientiarum en biología aplicada mención ecotoxicología. Cumaná: Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias, 2011. Resumen, p.14 y 28 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2267/1/Pg-LarezCarol.pdf].
Rio paraguay en el pantanal brasileño, Caceres, Mato Grosso, Brasil	Cromo, sulfuros, aceites y grasas, y / u otros productos químicos presentes en el Rio paraguay en el pantanal brasileño.	Muestras de sangre obtenidas de arteria branquial.	Frecuencia de MN - <i>Pimelodus maculatus</i> (Bagre Amarillo) Estacion lluviosa: 0.735%, 0.729%, 0.407% MN / 1000 Células Estacion seca: 0.881%, 0.812%, 0.500% MN / 1000 Células - <i>Leporinus friderici</i> (Leporino manchado)	"Distintas especies de peces pueden responder de modos diferentes a un determinado agente genotóxico. Así, cuando se comparan las tasas de MN y MNC inducidas en <i>P. maculatus</i> y <i>L. Friderici</i> eritrocitos en los sitios 1 y 3 en la temporada seca, las tasas más altas se	SARTINI, Vania María, et.al. In situ assessment of the Paraguay River Water, in Brazilian Pantanal, by means of Micronucleus Assay with Fish and chemical analysis, [en línea] En: Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Abril, 2013, Vol 90, No. 4, p.427-433 [Consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://eds.a.ebscohost.com/

			Estacion seca: 0.788%, 0.368% MN / 1000 Células	verificaron en <i>P. maculatus</i> , demostrando que es un centinela más sensible.”	eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=da2cd672-24ed-4cc5-83ce-d3182de6882e%40sessionmgr4005&vid=1&hid=4113
Centro acuícola carpícola Tiacaque, Estado de México, Mexico	Mercurio	Muestras de sangre por punción de la arteria/ vena caudal	Frecuencia de micronucleos con una exposición a 1/10 CL50 Hg (0.01mg/L): -A 12 horas de exposición:10% MN/1000 células - A 24 horas de exposición: 27% MN/1000 células aprox. -A 48 horas de exposición: 26% MN/1000 células aprox. -A 72 horas de exposición: 17% MN/1000 células aprox -A 96 horas de exposición 15% MN/1000 células aprox.	El Hg es un agente genotóxico y citotóxico, puesto que se evidenció un aumento en la frecuencia de micronúcleos, como también en la proporción de células apoptóticas en los eritrocitos de la carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>), el deterioro en los dos casos depende de la concentración y el tiempo de exposición	NÚÑEZ, Judith Angélica, et al. Daño genotóxico y citotóxico producido por mercurio sobre células sanguíneas de (<i>Cyprinus carpio</i>), [en línea], México D.F: UAEMex, [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ameqa.org/AMEQA/V_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20BB03.pdf
Universidad de Bruselas, Bélgica	Bifenilos policlorados	Muestras de sangre por punción cardiaca	Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar 1.0 \pm 0.7 % MN / 1000 Células, a los 14 días de tratamiento con los bifenilos policlorados.	Los datos señalan que el PCB77 (Bifenilos policlorados) no genera roturas de cadenas dobles o individuales que se puedan detectar con la el Test de micronúcleos y el ensayo cometa, en los eritrocitos de trucha marrón.	BELPAEME, K. et.al. Cytogenetic studies of PCB77 on Brown trout (<i>Salmo trutta fario</i>) using the micronucleus test and the alkaline comet assay, [en línea] En: Mutagénesis, 1996, vol.11 No.5 p.485-492, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://mutage.oxfordjournals.org/content/11/5/485.full.pdf

Universidade do Porto, Porto, Portugal	Fenantreno y nitrito	bilis de la vesícula biliar, hígados	<p>Cantidad de MN</p> <p>Aproximadamente 45 MN/ 1000 Células a los 6 días de exposición a fenantreno.</p> <p>Aproximadamente 5 MN/ 1000 Células, a los 6 días de exposición s fenentreno mas nitrito.</p>	<p>Para identificar la capacidad genotóxica del PHE (Fenantreno) y sus metabolitos se estudió la presencia de micronúcleos en los eritrocitos de róbalo. La exposición al PHE generó un incremento significativo en la cantidad de micronúcleos a los 3 y 6 días (tres veces y cinco veces más, respectivamente) de exposición a este PAH. Cabe resaltar que con la presencia de NO₂ – en el agua no hubo modificaciones en la cantidad de micronúcleos.</p>	<p>REIS, MA. et al. Phenanthrene and nitrite effects on juvenile sea bass, <i>Dicentrarchus labrax</i>, using hepatic biotransformation enzymes, biliary fluorescence, and micronuclei as biomarkers [en línea]. En: Ciencias Marinas, 2009, Vol 35, No. 1, p. 29–40 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v35n1/v35n1a3.pdf</p>
Oficina Nacional de Peces Recursos Genéticos, Canal Ring Road, India	Malatión	Muestras de sangre periférica utilizando la técnica de punción de la vena caudal.	<p>La frecuencia mas alta de micronucleos fue de 0.3 % MN / 2700 Células al tercer día de exposición a la concentración subletal I</p>	<p>Los resultados de este trabajo en cuanto a la genotoxicidad potencial del malatión indica una gran preocupación por su peligro potencial para los organismos acuáticos, en especial para los peces, y de forma indirecta a las personas.</p>	<p>KUMAR, Ravindra. et al. Investigation of the genotoxicity of Malathion to freshwater Teleost Fish <i>Channa punctatus</i> (Bloch) Using the Micronucleus Test and Comet Assay [en línea]. En: Arch Environ Contam Toxicol, 2010, Vol. 58, p. 123–130 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=5570bbfa-fe22-4246-ac8e-eeb28f08ba40%40sessionmgr4002&hid=4105</p>

Planta de potabilización de Castiglione del Lago (Perugia, Italia)	Desinfectantes para potabilización de agua: hipoclorito de sodio, ácido peracético y dióxido de cloro	Muestras de sangre por punción intracardiaca	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Agua de lago sin tratamiento: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 días se tiene una frecuencia de micronucleos de 0.5 ± 0.24 / 25.000 células</p> <p>Agua de lago con CH₃COO₂H: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 días se tiene una frecuencia de micronucleos de 1 ± 0.33 / 25.000 células</p> <p>Agua de lago con NaClO: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 días se tiene una frecuencia de micronucleos de 2.5 ± 0.50 / 25.000 células</p> <p>Agua de lago con ClO₂: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 días se tiene una frecuencia de micronucleos de 1.8 ± 0.41 / 25.000 células</p>	No hay diferencias significativas en ningún experimento en la frecuencia de micronúcleos entre las poblaciones de peces en las cuatro cuencas en el tiempo 0, es decir justo antes del comenzar la exposición al agua desinfectada; se evidencia uniformidad en las condiciones de partida.	BUSCHINI, A, et al. Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of Cyprinus carpio specimens exposed in situ to lake waters treated with disinfectants for potabilization [En línea] En: Mutation Research, 2004, Vol 557, p. 119-129 [consultado el 17 de Abril de 2015.] Disponible en internet: http://www.researchgate.net/profile/Annamaria_Buschini/publication/8915251_Comet_assay_and_micronucleus_test_in_circulating_erythrocytes_of_Cyprinus_carpio_specimens_exposed_in_situ_to_lake_waters_treated_with_disinfectants_for_potabilization/links/00463539594dfeab1c000000.pdf .
--	---	--	--	---	--

Universidad de Asiut, Asiut, Egipto	4-nonilfenol	Muestras de sangre obtenidas de la vena caudal de los peces	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Tratamiento de control 0.2 \pm 0.42% / 1000 células</p> <p>Tratamiento a 0.05 mg/l 4-nonilfenol 1 \pm 0.816 % / 1000 células</p> <p>Tratamiento a 0.08 mg/l 4-nonilfenol 1.9 \pm 0.99 % / 1000 células</p> <p>Tratamiento a 0.1 mg/l 4-nonilfenol 4.2 \pm 2.44 % / 1000 células</p>	Los resultados revelaron que el 4-nonilfenol es altamente tóxico para el bagre <i>C. gariepinus</i> . La toxicidad del 4-nonilfenol en el bagre se incrementó con el aumento de sus concentraciones.	MEKKAWY, Imam A; MAHMOUD, Usama M y SAYED, Alaa El-Din. Effects of 4-nonylphenol on blood cells of the African catfish <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822) [en línea]. En: Tissue and Cell. Agosto, 2011, Vol. 43, No. 4, p. 223–229 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816611000474 ?
Universidad de Nigeria Nsukka, Nigeria	praziquantel	Muestras de sangre obtenidas de la vena caudal de los peces	<p>Frecuencia de MN</p> <p>2.78% MN / 1500 Células, a los 10 días de exposición al praziquantel.</p>	Los resultados del presente estudio indican que la exposición de <i>C. gariepinus</i> a PZQ dio lugar a la inducción de micronúcleos y a cambios en los parámetros hematológicos y bioquímicos.	NWANI, Christopher. et al. Mutagenic and physiological responses in the juveniles of African catfish, <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell 1822). following short term exposure to praziquantel. [en línea]. En: Tissue And Cell. Agosto, 2014, Vol. 46, No. 4, p. 264-273, [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816614000482 ?

Universidad de Asiut, Asiut, Egipto	Plaguicida carbofurano	Muestras de sangre obtenidas de la vena caudal de los peces	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Tratamiento control</p> <p>0.20 \pm 0.004 % MN / 1000 Células</p> <p>Tratamiento 1= 0.16mg/L</p> <p>2.26 \pm 0.05 % MN / 1000 Células</p> <p>Tratamiento 2 : 0.49mg/L</p> <p>8.77 \pm 0.19 % MN / 1000 Células</p>	Los resultados muestran que la exposición del bagre africano <i>Clarias gariepinus</i> a concentraciones subletales de carbofurano (0.16 and 0.49 mg/L) dio lugar a muchas alteraciones morfológicas en eritrocitos y se generaron algunos tipos de células patológicas.	HARABAWY, Ahmed S.A. e IBRAHIM, Ahmed. Th.A. Sublethal toxicity of carbofuran pesticide on the African catfish <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822): Hematological, biochemical and cytogenetic response [en línea]. En: Ecotoxicology and Environmental Safety. Mayo, 2014, Vol. 103, p. 61–67 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651313004077
Universidad de Benha, Egipto	Malatión	Riñón y Muestras de sangre obtenidas de la vena caudal de los peces	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Tratamiento control + 5ppm Malatión</p> <p>9.00\pm0.83% / 2000 células</p> <p>Polen+ 5ppm Mal.</p> <p>5.60\pm0.60% / 2000 células</p> <p>Propóleo + 5ppm Mal.</p> <p>6.40\pm0.51% / 2000 células</p>	El tamaño y la posición de los micronúcleos en el citoplasma mostraron una ligera variación y, generalmente un micronúcleo por célula era observado. El malatión indujo un aumento significativo (P <0.05) en la frecuencia de MN en el grupo Gr3 (alimentados con una dieta comercial estándar) en comparación con un grupo de control de placebo (C) (9,00 \pm 0,83 vs. 2,60 \pm 0,40), lo que confirma su potencial genotóxico para los peces.	KANDIEL, Mohamed M.M. et al. Modulation of genotoxicity and endocrine disruptive effects of malathion by dietary honeybee pollen and propolis in Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) [en línea]. En: Journal Of Advanced Research. Noviembre, 2014, Vol. 5, No. 6, p. 671-684 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S2090123213001367 ?

Lago Qaroun, Egipto	Metales pesados: Cu, Zn, Pb, Fe y Mn	Muestras de sangre de los peces (no se especifica de que parte de los organismos).	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Sitio 1 (sitio de referencia) <i>Oreochromis niloticus</i> 5.0 \pm 0.50% MN / 2000 células</p> <p><i>Mugil cephalus</i> 2.75 \pm 0.56% MN / 2000 células</p> <p>Sitio 2 (Lago Qaroun) <i>Oreochromis niloticus</i> 34.50 \pm 1.60% MN / 2000 células</p> <p><i>Mugil cephalus</i> 18.75 \pm 2.66% MN / 2000 células</p> <p>Sitio 3 (Piscifactorias en Qaroun) <i>Oreochromis niloticus</i> 23.25 \pm 1.40% MN / 2000 células</p> <p><i>Mugil cephalus</i> 10.0 \pm 2.07 % MN / 2000 células</p>	Hubo diferencias altamente significativas en la frecuencia de MN en ambas especies de peces recogidos de los sitios de estudio. Ambas especies se recolectaron del lago Qaroun y los cultivos de peces a su alrededor mostraron un aumento significativo en la frecuencia de MN en comparación con los peces muestreados en el sitio de referencia.	OMAR, Wael A. et al. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, <i>Oreochromis niloticus</i> and <i>Mugil cephalus</i> , from highly degraded aquatic habitats [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Julio, 2012, Vol. 746, No. 1, p. 7-14. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571812000770 ?
---------------------	--------------------------------------	--	--	---	---

Rio Anambra (Nigeria)	HAP, (hidrocarburos aromáticos policíclicos), Cobre y Zinc.	Branquias y riñones	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>En branquias <i>Synodontis clarias</i> 4.39 ± 1.952% MN /1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 2.70 ± 1.731% MN /1000 células</p> <p>En riñones <i>Synodontis clarias</i> 2.94 ± 2.0733% MN /1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 1.73 ± 1.429% MN /1000 células</p> <p>Tratamiento control En branquias: <i>Synodontis clarias</i> 0.20 ± 0.0 % MN / 1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 0.1 ± 0.0% MN / 1000 células</p> <p>En riñones <i>Synodontis clarias</i> 0.11 ± 0.01% MN / 1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 0.048 ± 0.002% MN / 1000 células</p>	El estudio mostró que en general la incidencia de micronúcleos en las especies de peces (<i>Clarias Synodontis</i> y <i>Tilapia nilotica</i>) son excelentes biomarcadores para la vigilancia de la contaminación de agua dulce. Esto es así ya que los peces criados bajo condiciones ideales (control), aparentemente muestran niveles insignificantes de micronúcleos.	OBIAKOR, M.O.; OKONKWO, J.C, Y EZEONYEJIKU, C.D. Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by in vivo micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes. [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. Diciembre, 2014, Vol. 775-776, p. 20-30 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571814002599 ?
-----------------------	---	---------------------	---	---	---

Mercado Electrónico Internacional de Alaba Ojo, Lagos, Nigeria.	Metales pesados: Pb, Cd, Cu, Cr, Fe, Zn, Ni, Ag,	Muestras de sangre obtenidas de la vena caudal de los peces	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Agua de pozo de Alaba con un tratamiento del 100% a los 28 días.</p> <p>3.93 \pm 0.81% MN / 2000 células</p> <p>Lixiviados de Alaba raw con un tratamiento del 50% a los 28 días.</p> <p>8.77 \pm 0.91% MN / 2000 células</p>	Los lixiviados de desechos electrónicos y el agua de pozo contaminada indujo cytogenotoxicidad en <i>C. gariepinus</i> . Los metales pesados y compuestos orgánicos presentes en las muestras analizadas provocaron el daño observado ADN a través de la formación de ROS.	BAKARE, Adenkule A. et.al. In Vivo Cytogenotoxicity and Oxidative Stress Induced by Electronic Waste Leachate and Contaminated Well Water [en línea]. En: Challenges. Julio, 2013, Vol. 4, p. 169-187 [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105
Estado de Anambra, Nigeria.	Cobre y Zinc	Muestras de sangre a través de la incisión de los vasos caudales.	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p><i>Synodontis clarias</i></p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al cobre: 2.50\pm1.8, 1.80\pm 0.2, 2.00\pm 1.4% MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Zinc: 3.00\pm 0.2, 1.10\pm 0.7, 2.80\pm 1.2 % MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc: 3.70\pm 2.4 2.40\pm0.3 3.50\pm 2.1% MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc después de 96 horas en agua limpia:</p> <p>3.50\pm2.2, 2.30\pm1.6, 3.30\pm 1.5% MN / 1000 células</p>	El estudio mostró el efecto genotóxico de la mezcla única y binaria de Cu y Zn, incluso a exposición a corto plazo y su no dependencia de la dosis. Esta era una desviación significativa cuando los niveles de toxicidad de las mezclas se compararon con los niveles de toxicidad de los metales individuales.	OBIAKOR, M. O. et al. Genotoxicology: Single and Joint Action of Copper and Zinc to <i>Synodontis clarias</i> and <i>Tilapia nilotica</i> . [en línea]. En: Journal Of Applied Sciences & Environmental Management. Septiembre, 2010, Vol. 14, No. 3, p. 59-64. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105

			<p>Variacion frecuencia de MN en tratamiento de control: $0.90 \pm 0.3\%$ / 1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> Variacion frecuencia de MN debida al cobre: 1.60 ± 1.8 1.90 ± 1.2 % MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Zinc: 0.80 ± 1.5 2.40 ± 2.0 % MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc: 1.90 ± 1.3, $3.10 \pm 1.4\%$ MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc después de 96 horas en agua limpia: 0.80 ± 0.7, $1.00 \pm 1.7\%$ MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN en tratamiento de control: $0.60 \pm 0.2\%$ MN / 1000 células</p>		
--	--	--	--	--	--

Centro Nacional de Investigaciones, Dokki, El Cairo, Egipto	Esterigmatocistina	Tejidos musculares, branquias	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>En tratamiento de control: 3.5 ± 0.5 % MN / 2000 células</p> <p>En exposición a Esterigmatocistina: 36.75 ± 3.49 % MN / 2000 células</p> <p>En exposición a Montmorillonita: 6.5 ± 1.1 % MN / 2000 células</p> <p>En exposición a Esterigmatocistina junto con Montmorillonita: 16.5 ± 2.29 % MN / 2000 células</p> <p>Por control de solvente: 5.25 ± 0.82 % MN / 2000 células</p>	Los resultados de este estudio indican que EM tiene una alta afinidad por Stg in vitro, formando una adsorción compleja que era estable bajo diferentes pHs a 37 °C. Además, la estabilidad de este complejo era muy alta cuando se extrajo con diferentes disolventes orgánicos.	ABDEL-WAHHAB, Mosaad A. et al. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (<i>Oreochromis niloticus</i>). [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Abril, 2005, Vol. 582, No. 1 – 2, p. 20 – 27 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571804003596 ?
Universidad de Asiut, Asiut, Egipto	Dos cepas patógenas de hongos zoosporic (<i>Achlya klebsiana</i> y <i>Aphanomyces laevis</i>)	Muestras de sangre mediante punción cardiaca.	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>En tratamiento de control: 7.7 ± 1.53 % MN /1000 células, a los 30 días de tratamiento.</p> <p><i>Achlya klebsiana</i>: 57.3 ± 2.3 % MN /1000 células, a los 30 días de tratamiento</p> <p><i>Aphanomyces laevis</i> 34.7 ± 5.03 % MN /1000 células , a los 30 días de tratamiento</p>	La tilapia del Nilo expuesta al hongo zoosporic sometido a las pruebas de MN, LN y CA mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al control de los testigos. También, aumentó significativamente ($p < 0,001$) en micronúcleos y frecuencias de lesiones nucleares y el porcentaje del daño en el ADN se registró con el aumento de la exposición en el tiempo.	OSMAN, A. et al. Genotoxicity of two pathogenic strains of zoosporic fungi (<i>Achlya klebsiana</i> and <i>Aphanomyces laevis</i>) on erythrocytes of Nile tilapia <i>Oreochromis niloticus niloticus</i> . [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2010, Vol. 73, No. 1, p. 24-31 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651309001808 ?

Universidad de Uludag, 16059 Gorukle, Bursa, Turquía	La atrazina y un herbicida a base de atrazina (Gesaprim®)	Muestras de sangre obtenidas de la vena caudal de los peces	Frecuencia de MN Con 15 µg/L de atrazina : 3.14 % MN / 2000 células Con 15 µg/L de Gesaprim: 4.65% MN / 2000 células	El tratamiento con atrazina no causó aumentos significativos en las frecuencias de eritrocitos micronucleados. El tratamiento con Gesaprim indujo significativamente la frecuencia de micronúcleos en todos los grupos experimentales con respecto a la grupo de control (P <0,05) con las excepciones de 5 y µg / l en el segundo día (P> 0,05).	CAVAS, Tolga. In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish <i>Carassius auratus</i> using the micronucleus test and the comet assay. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Junio, 2011, Vol. 49, No. 6, p.1431-1435 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0278691511001219 ?
Oficina Nacional de Recursos Genéticos de peces (Consejo Indio de Investigación Agrícola), Canal Ring Road, PO-Dilkusha, Lucknow 226 002, UP, India	Rasayanzine (herbicida a base de atrazina)	Eritrocitos de sangre y células de branquia.	Frecuencia de MN ± Desv. Estándar A 8.48 mg L ⁻¹ de atrazina a los 35 días: 0.133 ± 0.066 % MN / 1500 células.	El daño en el ADN medido como % de ADN de la cola en el eritrocito y células de branquias de control y grupos de tratamiento indicaron que los peces expuestos para el control positivo y a diferentes concentraciones de atrazina evidenciaron daños significativamente mayores de ADN (p <0.01) en sus tejidos que en las muestras control negativo.	NWANI, C.D. et al. Mutagenic and genotoxic assessment of atrazine-based herbicide to freshwater fish <i>Channa punctatus</i> (Bloch) using micronucleus test and single cell gel electrophoresis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Marzo, 2011, Vol. 31, No. 2, p. 314-322 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668910002085 ?

Rio amarillo, Yanjin (Henan, China)	8-hidroxiilquinoleína	Medula espinal y muestras de sangre (no se especifica de que parte de los organismos.	Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar A 14.516 mg l ⁻¹ de 8-HOQ, a los 6 días de tratamiento: 11.522 \pm 1.768 % MN / 1000 células.	La frecuencia de MN fue mayor con el aumento de las concentraciones de 8-HOQ, y mostró una relación evidente dosis-efecto. Además, estas diferencias fueron significativas y se correlacionaron con la longitud de tiempo de exposición el cual muestra una relación tiempo-efecto.	NAN, Ping. et al. Genotoxic effects of 8-hydroxyilquinoline in loach (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>) assessed by the micronucleus test, comet assay and RAPD analysis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Mayo, 2013, Vol. 35 No. 3, p. 434-443. [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668913000215 ?
Universidad de Mersin, Mersin, Turquía	Cloruro de mercurio y acetato de plomo	Eritrocitos, tejido de aleta y branquia.	Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar A 10 μ g/L de cloruro de mercurio: Eritrocitos: 5.71 \pm 0. 61 % MN / 1500 células, a los 6 días de tratamiento: Branquia: 9.26 \pm 1.33% MN / 1500 células, a los 6 días de tratamiento. Aleta: 5.53 \pm 1.10 % MN / 1500 células, a los 7 días de tratamiento. A 100 μ g/L de acetato de plomo: Eritrocitos: 6.70 \pm 1.38% MN / 1500 células, a los 6 días de tratamiento	Los resultados de este estudio demostraron que los peces de colores no sólo es una importante especie de peces ornamentales, sino también un modelo útil para estudios biológicos y aunque muchas especies de peces son poliploides y su cariotipo no es estable, los resultados de estudios previos demostraron la estabilidad cariotípica de <i>Carassius auratus auratus</i>	ÇAVAŞ, Tolga. In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: Micronucleus test on acridine orange stained fish cells. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Enero, 2008, Vol. 46, No. 1, p. 352-358 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S027869150700302X ?

			<p>Branquia: $12.06 \pm 1.66\%$ MN / 1500 células, a los 6 días de tratamiento</p> <p>Aleta: $4.86 \pm 0.87\%$ MN / 1500 células, a los 7 días de tratamiento.</p>		
Universidad de Dhaka, Dhaka-1000, Bangladesh	Arsenico de sodio (NaAsO ₂)	Higado y branquia.	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>El valor mas alto de MN se registró a 56 ppm de arsenico de sodio, despues de 96 horas de exposicion:</p> <p>$5.8 \pm 0.46\%$ / 500 células</p>	La exposición a diferentes concentraciones de NaAsO ₂ aumentó significativamente la frecuencia MNi en las muestras de peces expuestos más que en el grupo control a las 96 h y 192 h de exposición, mientras que, hubo una tendencia de disminución en la frecuencia MNi después de 192 h de exposición dentro de los grupos de concentración.	AHMED, Kawser. et al. Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>) using alkaline comet assay and micronucleus test. [en línea]. En: Chemosphere. Junio, 2011, Vol. 84, No.1, p.143-149. [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653511001585 ?
Universidad de Gazi, Ankara, Turquía	Fenitrotión	Higado, cerebro, branquia y tejidos musculares.	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Por exposición al Fenitrotión: $6.43 \pm 3.89\%$ MN / 1000 células.</p>	El tratamiento con fenitrotión aumentó significativamente la frecuencia de micronúcleos ($6.43 \pm 3.89\%$) en comparación con el grupo control ($1.29\% \pm 1.03$), y también se observaron anomalías nucleares en el grupo experimental.	SEPICI-DINCEL, Aylin. et al. Genotoxicity assessment of carp (Cyprinus carpio L.) fingerlings by tissue DNA damage and micronucleus test, after environmental exposure to fenitrothion. [en línea] En: Toxicology Mechanisms and Methods. 2011, Vol. 21, No. 5, p. 388-392 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=27&sid=ea f7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105

Universidad Musulmana Aligarh, Aligarh-202002, India	Pentaclorofenol (PCP) y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)	Muestras de sangre a través de un corte caudal.	Cantidad de MN Exposicion a PCP Cantidad más alta registrada de MN: 1088 MN / 1000 células. Exposicion a 2,4-D Cantidad más alta registrada de MN: 604 MN / 1000 células.	Se obtuvieron resultados significativos con PCP y 2,4-D en cuanto a la inducción de micronúcleos y otra alteraciones celulares en los eritrocitos de <i>C. punctatus</i> .	ABUL FARAH, M. et al. Evaluation of genotoxicity of PCP and 2,4-D by micronucleus test in freshwater fish <i>Channa punctatus</i> . [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2003, Vol. 54, No. 1, p. 25-29 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651302000374 ?
La ciudad de Hamamatsu, Japón.	Lixiviados en vertederos, LC50 de NaCl, amonio.	Branquias	La frecuencia más alta registrada de MN fue de aproximadamente 12 % MN / 1000 células.	La mutagenicidad de lixiviados crudos y tratados de vertederos se evaluó mediante la prueba de micronúcleos y el ensayo cometa utilizando peces de colores. Se sugirió una combinación de los dos bioensayos para que pueda ser una herramienta potencial para biomonitorrear los mutágenos / carcinógenos en un ambiente acuático.	DEGUCHI, Yuya. et al. Evaluation of mutagenic activities of leachates in landfill sites by micronucleus test and comet assay using goldfish. [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic. 5 de Marzo, 2007, Vol. 627, No. 2, p.172-185 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571806004013 ?

Kashmir, India	Endosulfán	Muestras de sangre mediante punción cardiaca.	<p>Frecuencia de MN</p> <p>Concentración subletal de endosulfan (0.052 ppm): 3.733 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición.</p> <p>Concentración subletal de endosulfan (0.035 ppm): 2.021 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición.</p> <p>Concentración subletal de endosulfan (0.017 ppm): 1.113 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición.</p>	La formación de micronúcleos (MN), autenticado por la exploración microscópica electrónica, y las aberraciones cromosómicas (AC), se indujeron de forma significativa ($p < 0,05$) en todo los grupos tratados, incluyendo el ciclofosfamida de control positivo (4 ppm), en comparación con el control negativo. Del mismo modo la peroxidación lipídica (LPO) se indujo significativamente con la máxima concentración (SL-I), el 4 día (722,45%; $p < 0,01$).	DAR, Sabzar. et al. Assessment of endosulfan induced genotoxicity and mutagenicity manifested by oxidative stress pathways in freshwater cyprinid fish crucian carp (<i>Carassius carassius</i> L.) [en línea]. En: Chemosphere. Febrero, 2015, Vol. 120, p. 273-283 [consultado el 30 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653514008911 ?
Universidad Musulmana Aligarh, Aligarh-202002, India	Cloruro de cadmio	Tejidos de riñón	Cantidad más alta registrada de MN: 799 MN / 2000 células	El presente estudio revela que el cadmio es un químico clastogénico que induce varias anomalías cromosómicas y genera el aumento de células micronucleadas en los peces. Por lo tanto, se puede utilizar como un biomarcador para el monitoreo de la contaminación en el ambiente acuático.	PARVEEN, Nuzhat y SHADAB, G.G.H.A. Cytogenetic evaluation of cadmium chloride on <i>Channa punctatus</i> . [en línea] En: Journal Of Environmental Biology, Mayo, 2012, Vol. 33, No. 3, p. 663-666. [consultado el 30 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=23&sid=ea f7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002 &hid=4105

Tabla 4. De acuerdo al nivel trófico de las especies

Especie / Localización Geográfica	Nivel trófico	Contaminantes	MN/1000 células	Comentario	Referencia
<p>-<i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común) -<i>Astyanax eigenmanniorum</i> (Mojarra piava), -<i>Cheirodon interruptus</i>. (Mojarrita).</p> <p>Río Cuarto, Córdoba, Argentina.</p>	<p>-<i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común): Omnívora -<i>Astyanax eigenmanniorum</i> (Mojarra piava): Omnívora -<i>Cheirodon interruptus</i>. (Mojarrita): Omnívora</p>	Metanol	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p><i>C. Carpio</i> 0.05 ± 0.12 /1000 celulas</p> <p><i>C. interruptus</i> 0.04 ± 0.09 /1000 celulas</p> <p><i>A. eigenmanniorum</i> 0.07 ± 0.22 /1000 celulas</p> <p>‰ Frecuencia en mil</p>	<p>-No se evidenciaron diferencias significativas entre las especies icticas, en los eritrocitos micronucleados ($P > 0,05$). -Las frecuencias de micronúcleos fue muy baja en las tres especies.</p>	<p>POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies icticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67, [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf.</p>
<p>-<i>Goodeido Xenotoca Melanosoma</i> (Mexcalpique negro)</p> <p>Lago La alberca, Michoacan, Mexico.</p>	<p>-<i>Goodeido Xenotoca Melanosoma</i> (Mexcalpique negro): Omnívora</p>	Ciclofosfamida o colchicina	<p>Cantidad de EMN (eritrocitos micronucleados) 40 EMN / 10,000,</p>	<p>Cuando <i>X. melanosoma</i> fue expuesta a genotóxicos como la COL (Colchicina) y CP(Ciclofosfamida), las frecuencias de EMN fueron cerca de 40 EMN/10,000, lo que indica que en caso de que hayan agentes micronucleogénicos en el Lago la concentración es muy baja.</p>	<p>FLORES, Lola Paulina, et al. Micronúcleos y anomalías nucleares en el <i>Goodeido Xenotocamelanosoma</i> del lago La Alberca en Michoacán, México, [en línea], 2008, p.641 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/Otrasinstituciones/FloresKehn(pp641-650)/641-650.pdf].</p>

<p>-<i>Goodea atripinis</i> -<i>Oreochromis mossambicus</i>. (Tilapia del mozamobique)</p> <p>Cuenca del Rio San Juan en el estado de Querétaro, y municipio de Tecozautla, Estado de Hidalgo, México.</p>	<p>-<i>Goodea atripinis</i>: Hervíboro</p> <p>-<i>Oreochromis mossambicus</i>. (Tilapia del mozamobique): Omnívora</p>	Metanol	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>0.38\pm0.02 /1000 células en <i>Prochilodus nigricans</i> como grupo de control y el grupo expuesto presentó una frecuencia de MN DE 2.1\pm0.09 /1000 células (exposición a mercurio) (Al-Sabti <i>et al.</i> 1993)</p>	<p>La especie <i>Goodea atripinis</i> y <i>Oreochromis mossambicus</i> en el sitio Tecozautla en durante el periodo de esta investigación a través de las pruebas de micronúcleos en sangre periférica y células epiteliales, no se detectaron diferencias significativas al comparar el porcentaje de micronúcleos entre los grupos testigos y tratados.</p>	<p>RICO, Miguel Ángel; SÁNCHEZ, Antonio Y QUESADA, Joel. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2004 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.uaemex.mx/R ed_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TS/EO/TSO-05.pdf</p>
<p><i>Astyanax gr. bimaculatus</i>. (mojarra)</p>	Omnívora	Fenantreno, ciclofosfamida, aceite vegetal.	<p>Frecuencia de MN</p> <p>Entre 0 y 0.5% MN / 2000 células</p>	<p>El fenantreno en dosis subletales es un agente que genera genotoxicidad y citotoxicidad sobre los eritrocitos de sangre periférica de <i>Astyanax gr. bimaculatus</i>. Los resultados sugieren que la presencia de este hidrocarburo aromático policíclico en bajas dosis, puede generar aberraciones cromosómicas y daños citotóxicos en peces que estén expuestos a las concentraciones dichas en la investigación.</p>	<p>CORREDOR, Wilson. et.al. Inducción de micronúcleos y otras anomalías nucleares en <i>Astyanax gr. Bimaculatus</i> (Pisces: Characidae) expuestas a fenantreno, [en línea] En: ORINOQUIA SUPLEMENTO - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia, 2012, Vol. 16 – No. 2, p. 237-247 [consultado el 12 de Agosto de 2014] disponible en internet: http://www.researchgate.net/publication/262463623_Induction_of_micronuclei_and_other_nuclear_abnormalities_in_Astyanax_gr._bimaculatus_%28Pisces_Characidae%29_exposed_to_phenanthrene</p>

<p><i>Oreochromis niloticus</i> (tilapia del nilo).</p> <p>Laboratorio de Genética, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.</p>	<p>Omnívora</p>	<p>Dicromato de potasio</p>	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Porcentaje en mil (‰)</p> <p>1,43 ‰ \pm 0,45/ 2000 células</p>	<p>Las frecuencias de las células con micronúcleos y <i>nuclear Buds</i> (Brotes nucleares) aumentaron con respecto al control, siendo significativa la diferencia entre el tratamiento con respecto al control, a los tres días de exposición al dicromato de potasio. Se concluyó el incremento de las frecuencias de micronúcleos y <i>nuclear buds</i> según la dosis de dicromato de potasio.</p>	<p>PRIETO, Zulita. et.al. Efecto genotóxico del dicromato de potasio en eritrocitos de sangre periférica de <i>oreochromis niloticus</i> (tilapia), [en línea] En: Rev Peru Med Exp Salud Publica, 2008, Vol 25, No.1, p.51-58 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFECTO_GENOTOXICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_(TILAPIA)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83IsATLgIH4Cw&ved=0CD0QFjAH&usg=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ</p>
<p>-<i>Xenotoca melanosoma</i> (Mexcalpique negro)</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul)</p> <p>-<i>Chirostoma Consocium</i> (Charal de rancho)</p> <p>-<i>Chirostoma lucius</i> (Charal</p>	<p>-<i>Xenotoca melanosoma</i> (Mexcalpique negro): Omnívora</p> <p><i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul): Hervívora</p> <p><i>Chirostoma Consocium</i> (Charal de</p>	<p>Etanol al 80%</p>	<p>Eritrocitos micronucleados / 10.000 células</p> <p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p><i>Xenotoca melanosoma</i> 3.7 (\pm1.6)</p> <p><i>Oreochromis aureus</i> 2.0</p>	<p>Se determina a la especie <i>Xenotoca melanosoma</i> como candidata para evaluarse como un posible indicador de contaminantes, ya que es una especie endémica, fácil de capturar y presentó el valor más alto de EMN espontáneos (3.7\pm1.6), buena RC/N (Relación citoplasma núcleo (1.7:1) y cantidad excelente de EPC (Eritrocitos policromáticos)</p>	<p>TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en</p>

<p>de laguna)</p> <p>-<i>Lepomis macrochirus</i> (Mojarra azul)</p> <p>-<i>Allophorus robustus</i> (goodeido Bulldog)</p> <p>-<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> (Osteichthyes-Goodeidae)</p> <p>-<i>Chapalichthys encaustus</i></p> <p>-<i>Poeciliopsis infans</i></p> <p>Lago La Alberca, Mexico</p>	<p>rancho): Carnívoro</p> <p>-<i>Chirostoma lucius</i> (Charal de laguna): Carnívoro</p> <p>-<i>Lepomis macrochirus</i> (Mojarra azul): Omnívoro</p> <p>-<i>Allophorus robustus</i> (goodeido Bulldog): Carnívoro.</p> <p>-<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> (Osteichthyes-Goodeidae): Carnívoro.</p> <p><i>Chapalichthys Encaustus</i>: Hervívoro.</p> <p><i>Poeciliopsis Infans</i>: Especie depredadora planctófaga-bentófaga</p>		<p>(±1.0)</p> <p><i>Chirostoma consocium</i> 1.5 (±0.7)</p> <p><i>Chirostoma lucius</i> 1.2 (±1.3)</p> <p><i>Lepomis macrochirus</i> 1.2 (±1.6)</p> <p><i>Allophorus robustus</i> 1.0 (±1.5)</p> <p><i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> 0.8 (±1.2)</p> <p><i>Chapalichthys encaustus</i> 0.7 (±1.0)</p> <p><i>Poeciliopsis infans</i> 0.7 (±0.8)</p> <p><i>Goodea atripinnis</i> 0.6 (±1.1)</p>	<p>(29.5±15).</p>	<p>internet:http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf</p>
<p>-<i>Percillia gillissi</i></p> <p>-<i>Trichomycterus areolatus</i></p> <p>-<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha arcoiris)</p> <p>Río Cruces, Provincia de Valdivia, Chile</p>	<p>-<i>Percillia gillissi</i>: Carnívora</p> <p>-<i>Trichomycterus areolatus</i>: Carnívora</p> <p><i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha arcoiris): Carnívora</p>	<p>Etanol por 20 Minutos</p>	<p>No detectado</p>	<p>El ensayo del cometa no evidenció daño clastogénico en eritrocitos nucleados en ninguna de las especies estudiadas. En el test de micronúcleos no se evidencia un aumento en la frecuencia de micronúcleos en eritrocitos nucleados provenientes de las 7 estaciones del río Cruces.</p>	<p>CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA CHILE. PROGRAMA DE MONITOREO ECOTOXICOLÓGICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES EN EL RÍO CRUCES, PROVINCIA DE VALDIVIA CHILE. [en línea] Valdivia: Universidad de</p>

					Concepción, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.sinia.cl/1292/articles-35166_Cap4.pdf
<p>-<i>Micropogonias furnieri</i> (Corvina rubia)</p> <p>-<i>Paralichthys orbignyanus</i></p> <p>-<i>Mugil platanus</i> (La lisa)</p> <p>-<i>Odontesthes argentinensis</i> (Pejerrey escardón)</p> <p>Estuarios Pando, Solís Chico y Solís Grande, zona costera de canelones, Uruguay.</p>	<p><i>Micropogonias furnieri</i> (Corvina rubia): Carnívora.</p> <p>-<i>Paralichthys orbignyanus</i>: Carnívora.</p> <p><i>Mugil platanus</i> (La lisa): Hervívora</p> <p>-<i>Odontesthes argentinensis</i> (Pejerrey escardón): Se desconoce nivel trófico</p>	Metanol durante 10 Minutos	<p>Frecuencia de MN (micronucleos)</p> <p>-<i>Odontesthes argentinensis</i>, Temporada 1: 0.58 %, 0.17% y 0.19% / 2000 células Temporada 2: 0.38%, 0.09 y 0.12%. /2000 células Temporada 3: 0.13% / 2000 células Temporada 4: 0.15 % / 2000 células Temporada 5: 0.18 % / 2000 células</p> <p>-<i>Paralichthys orbignyanus</i>: Temporada 1: ND (No detectable) Temporada 2: 0.26%, 0.10% y 0.18% / 2000 células Temporada 3: 0.19% y 0.08 % / 2000 células Temporada 4: 0.05% y 0.10% / 2000 células Temporada 5: ND</p>	La alta sensibilidad a los contaminantes, al igual que su gran abundancia en los tres estuarios se determina que la especie <i>O. argentinensis</i> es buena bioindicadora de daño genético para los estuarios que se estudiaron. La cual se puede emplear para futuros estudios de calidad ambiental.	<p>GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf</p>

			<p>-<i>Mugil platanus</i> (La lisa) Temporada 1: ND Temporada 2: 0.09% y 0.08% / 2000 células Temporada 3: 0.09% / 2000 células Temporada 4: 0.09% / 2000 células. Temporada 5: 0.14 % / 2000 células</p> <p>-<i>Micropogonias furnieri</i> (Corvina rubia) Temporada 1: ND Temporada 2: ND Temporada 3: ND Temporada 4: 0.18% / 2000 células Temporada 5: 0.27% / 2000 células</p>		
<p><i>Danio rerio</i>. (Pez cebra)</p> <p>Peceras divididas en tres lotes con contenido de aguas de pozo de la Universidad de Hidalgo, Mexico.</p>	<p><i>Danio rerio</i>. (Pez cebra): Omnívoro</p>	Arsénico	<p>Frecuencia de MN</p> <p>10,2% MN / 1 000 células</p>	<p>Los resultados indicaron que el As generó el mayor daño genotóxico y teratogénico en células de branquias y en descendientes del pez cebra, a concentraciones subletales.</p>	<p>PRIETO, Francisco. et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (<i>Daniorerio</i>), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p. 72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf</p>

<p>-<i>Prochilodus magdalenae</i>, (Bocachico)</p> <p>-<i>Oreochromis sp.</i>(Tilapia)</p> <p>Estación piscícola de la Universidad de Antioquia (San José del Nus, Antioquia), Colombia.</p>	<p>-<i>Prochilodus magdalenae</i>, (Bocachico): Detritívora</p> <p>-<i>Oreochromis sp.</i>(Tilapia): Detritívora.</p>	<p>Cloruro de mercurio</p>	<p>Promedios de frecuencias de MN/1.000 células al día 7 de exposición a HgCl₂</p> <p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>-<i>Prochilodus magdalenae</i>, (Bocachico): 3.1±0, 15.0±0, 18.5±2.1, 17.5±0.7</p> <p>-<i>Oreochromis sp.</i>(Tilapia): 5.0±1.4, 12.0±2.8, 13.0±7, 13.0±1.4</p>	<p>Los resultados muestran que el bocachico es más sensible que la tilapia al cloruro de mercurio, esto puede basarse en varios mecanismos. El bocachico es una especie nativa que no ha sido intervenida genéticamente, en cambio la tilapia es un híbrido que sí ha sido intervenido. Esto puede causar diferencias en los mecanismos de detoxificación y reparación a los efectos genotóxicos de metales pesados.</p>	<p>PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (<i>Prochilodusmagdalenae</i> Y <i>Oreochromis</i> sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111, [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadadesbiologicas/raba2003v25n79art2.pdf</p>
<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo)</p> <p>Corrego dos bagres en el municipio Franca en el estado brasileño de São Paulo, Brasil.</p>	<p>Omnívora</p>	<p>Cromo y Metanol.</p>	<p>Frecuencia de MN</p> <p>Control negativo: 0.03 % / 2000 células</p> <p>Sitio Rio arriba: 0.2% / 2000 células</p> <p>Sitio de descarga de efluentes: 0.45% / 2000 células</p> <p>Sitio Rio abajo: 0.26% / 2000 células</p>	<p>El Test de micronúcleos en <i>O. niloticus</i> y el ensayo cometa evidenciaron que el agua recolectada en los tres puntos en la Corriente Córrego dos Brages fue significativamente genotóxica en comparación con el agua de mejor calidad utilizando un control negativo.</p>	<p>MATSUMOTO, Silvia. et.al. Genotoxicity and Mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish <i>Oreochromis niloticus</i> and chromosome aberrations in onion root-tips, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2006, Vol 29, No.1, p.148-158 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.br/pdf/gmb/v29n1/28185.pdf</p>

<p>-<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo)</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul)</p> <p>-<i>Tilapia zilli</i>, (Mojarra)</p> <p>-<i>Clarias gariepinus</i> (bagre africano)</p> <p>Rio nilo (Shubrakhit), abou homos, Kafr Eldawar (Barsiwqe) y el lago Mariout, en Egipto.</p>	<p>-<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo): Omnívora</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul): Hervívora.</p> <p>-<i>Tilapia zilli</i>, (Mojarra): Hervívora.</p> <p>-<i>Clarias gariepinus</i> (bagre africano): Omnívora.</p>	Ciclofosfamida	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Sitio 4:</p> <p>-<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo) Sangre: 2.2 ± 0.4 riñones: 1.8 ± 0.4 / 2000 células</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul) Sangre: 2.4 ± 0.41 riñones: 2.3 ± 0.3 / 2000 células</p> <p>-<i>Tilapia zilli</i>, (Mojarra) Sangre: 3.2 ± 0.52, riñones: 2.8 ± 0.4 / 2000 células</p> <p>-<i>Clarias gariepinus</i> Sangre: 12.2 ± 2.1, riñones: 8.7 ± 1.2 / 2000 células</p> <p>Dosis de 40 mg/kg.b.wt:</p> <p>-<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del nilo) Sangre: 18.3 ± 2.1, riñones: 22.2 ± 2.4 / 2000 células</p> <p>-<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia azul) Sangre: 12 ± 1.4, riñones: 18.2 ± 2.1 / 2000 células</p>	Los resultados evidencian que las diferentes especies de peces responden de manera completamente diferente a un genotóxico dado	<p>ALI, Fagr Kh; EL-SHEHAWI, A.M y SEEHY, M.A. Micronucleus test in fish genome: A sensitive monitor for aquatic pollution [en línea]. En: African Journal of Biotechnology, 4 de Marzo, 2008, Vol 7, No. 5, p. 606-612, [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/58485/46829</p>
---	--	----------------	---	---	--

			<p>-<i>Tilapia zilli</i>, (Mojarra) Sangre: 22±3.2, riñones: 30.4±3.4 / 2000 células</p> <p>-<i>Clariasga riepinus</i>: Sangre: 28.2±2.9, riñones: 42.4±3.2 / 2000 células</p>		
<p><i>Channa punctatus</i> (Cabeza de serpiente manchada)</p> <p>Chandiput, Gajapati,(Odisha), India</p>	<p><i>Channa punctatus</i> (Carnívora)</p>	Clorpirifós y Malatión	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar / 1000 células.</p> <p>Exposición al Clorpirifós: Control:0.055±0.007 Dia 5: 0.499± 0.036 Dia 10: 0.609±0.060 Dia 15: 0.722±0.069 Dia 20: 0.845±0.093 Dia 25: 0.947±0.093</p> <p>Exposicion al malatión: Control:0.055±0.077 Dia 5: 0.351±0.026 Dia 10: 0.451±0.039 Dia 15: 0.543±0.039 Dia 20: 0.633 ±0.051 Dia 25: 0.592±0.046</p>	Los micronúcleos (MN) inducidos por Malatión y Clorpirifós en los eritrocitos periféricos fueron en general puntos conformados que se encontraban cercanos del núcleo principal, con tamaño y forma variados entre células.	<p>PRADIPTA, Sarangi. Micronucleus assay: a sensitive indicator for aquatic pollution [en línea]. En: International Journal of Research in BioSciences. Octubre, 2012, Vol. 1, No. 2, p. 32-37 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ijrbs.in/download.php?file=32-37.pdf</p> <p>PRIETO, Francisco; et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (<i>Daniorerio</i>), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p. 72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf</p>

<p><i>-Prochilodus nigricans</i> (Boquichico),</p> <p><i>-Mylossoma duriventris</i> (palometa)</p> <p><i>-Hoplias malabaricus</i> (La talarira).</p> <p>Rios Madeira y Solimoes, Brasil.</p>	<p><i>-Prochilodus nigricans</i> (Boquichico): Iliófago</p> <p><i>-Mylossoma duriventris</i> (palometa) : Omnívora</p> <p><i>-Hoplias malabaricus</i> (La talarira): Carnívora</p>	Mercurio	<p>Frecuencia de MN</p> <p>En el Rio madeira 0.038%, 0.037%, y 0.18% / 5000 células.</p> <p>En el Rio Solimoes 0.01%, 0.01%, y 0.006% % / 5000 células.</p>	<p>Las Frecuencias de MN se elevaron casi de cuatro veces en P. nigricans y M. duriventris y aproximadamente 30 veces en H. malabaricus del río Madeira. En cuanto a los sitios de muestreo (contaminado vs. Referencia sitios) arrojaron diferencias significativas en las tres especies.</p>	<p>PORTO, Jorge; ARAUJO, Cleusa y FELDEBERG, Eliana. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species, [en línea] En: Environmental Research, Marzo, 2005, Vol 97, No. 3, p.287-292 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://www.albuw.ac.th/group_r/mercury/report-3/pdf_link/mutagenic_effect.pdf</p>
<p><i>-Cyphocharax magdalenae</i> (La yalúa),</p> <p><i>-Prochilodus Magdalena</i> (Bocachico)</p> <p><i>-Astyanax caucanus</i> (Mojarra caucana)</p> <p><i>-Astyanax sp.</i> (Mojarra),</p> <p><i>-Triportheus magdalenae</i> (Arenca),</p> <p><i>-Ctenolucius hujeta</i> (Barracuda de agua dulce)</p> <p><i>-Trachelyopterus insignis</i>, (Tapa olla)</p>	<p><i>-Cyphocharax magdalenae</i> (La yalúa): Detritívora</p> <p><i>-Prochilodus Magdalenae</i> (Bocachico): Detritívora</p> <p><i>-Astyanax caucanus</i> (Mojarra caucana): Carnívoro – insectívoro.</p> <p><i>-Astyanax sp.</i> (Mojarra), Omnívora</p> <p><i>-Triportheus</i></p>	Metanol	<p>Frecuencia de MN</p> <p>1.23% , 0.61%, 2.5%, 0.57%, 0.46% / 1000 células</p>	<p>La frecuencia media de micronúcleos varió entre 1,41 para T. insignis y 3,75 para C. magdalenae El número máximo de micronúcleos encontrados fueron para Ctenolucius Sujeta (7 nmm) y Cyphocharax magdalenae (10,5).</p>	<p>PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. : Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia [en línea] En: Actual Biol, 2009, Vol 31, No. 90, p. 67-77, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n90/v31n90a6.pdf</p>

<p>-<i>Eigenmania virescens</i> (El pez cuchillo)</p> <p>Ciénaga de Cachimbero (Santander) y Ciénaga de Ayapel (Córdoba), Colombia</p>	<p><i>magdalenae</i> (Arenca): Carnívora, zooplantófaga</p> <p>- <i>Ctenolucius hujeta</i> (Barracuda de agua dulce): Carnívora</p> <p>- <i>Trachelyopterus insignis</i> (Tapa olla): Carnívora</p> <p>- <i>Eigenmania virescens</i> (El pez cuchillo): Carnívora y omnívora.</p>				
<p><i>Astyanax bimaculatus</i> (<i>Characidae</i>) (Mojarra)</p> <p>Estación de piscicultura de la Universidade Estadual de Londrina, Brasil.</p>	Omnívora	Ciclofosfamida y sulfato de vinblastina	<p>Frecuencia de MN</p> <p>Exposición al Ciclofosfamida 0.31%, 0.57%, 1.22%, 2.53%, 0.60% / 3000 células</p> <p>Exposición al sulfato de vinblastina 0.31%, 1.13%, 0.96%, 1.21% / 3000 células</p>	<p>Puesto que el análisis citológico no evidenció diferencias en las frecuencias de MN en preparaciones teñidas con Giemsa o Reactivo de Schiff, los datos fueron combinados para el análisis estadístico.</p> <p>No se presentaron diferencias significativas en la frecuencia de MN entre las diferentes dosis de sulfato de vinblastina utilizados.</p>	<p>MATSUMOTO, F.E. y CÓLUS, I.M.S. Micronucleus frequencies in <i>Astyanax bimaculatus</i> (<i>Characidae</i>) treated with cyclophosphamide or vinblastine sulfate, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2000, Vol 23, No. 2, p.489-492 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://www.scielo.br/pdf/gmb/v23n2/2772.pdf</p>

<p><i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum (Trucha arcoiris)</p> <p>Estación de piscicultura en Gracani, Croacia.</p>	<p>Especie carnívora</p>	<p>Amoniaco, metanol.</p>	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>En diploides de trucha arcoiris: 1.10 ± 0.96 1.80 ± 1.57 / 1000 células</p> <p>En triploides de trucha arcoiris 2.41 ± 1.28 5.92 ± 3.80 / 1000 células.</p>	<p>Los micronúcleos son consecuencia de aberraciones cromosómicas numéricas, pero se demostró que una aplicación temprana de choque térmico en los huevos de peces tiene consecuencia indirecta en la 1er aparición de micronúcleos.</p>	<p>STRUNJAK, I; COZ, R y TOPIC, N. Micronucleus occurrence in diploid and triploid rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum), [en línea] En: Vet. Med. – Czech, 2003, Vol 48, No.8, p. 215–219 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://vri.cz/docs/vetmed/48-8-215.pdf</p>
<p><i>Eremophilus mutisii</i> (El capitán de la sabana)</p> <p>Rio Bogotá</p>	<p>Omnívora</p>	<p>Metanol</p>	<p>No aplica ya que es un anteproyecto, no hay resultados en el documento.</p>	<p>Con esta investigación se espera generar información para caracterizar la problemática del uso de plaguicidas en la cuenca alta del río Bogotá</p>	<p>SALCEDO, Alejandra, et al. Plaguicidas en el río Bogotá: efecto en el pez capitán y en la población que lo consume, [en línea]. Bogotá D.C: Fundación al verde vivo, Universidad del Rosario, Instituto Nacional de Salud, Universidad Nacional de Colombia, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://alverdevivoo.org/SitioAntiguo/Documentos/PROYECTO%20PESTICIDAS%20PEZ%20CAPITAN.pdf</p>
<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia del Nilo)</p> <p>Laguna de Sonso, Valle del Cauca, Colombia.</p>	<p>Omnívora</p>	<p>Cromo, plomo y mercurio</p>	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>La concentración de cromo (valores en mg/kg), en estaciones seca y húmeda, en</p>	<p>-Los indicadores empleados en esta investigación concordaron en sus resultados significativamente, con lo cual se evidencia que es más exacto un estudio cuando se emplea más de un biomarcador. -Respecto a los resultados</p>	<p>CÁCERES, Paolín; TELLO, Ángela y TORRES Gerardo. Uso de biomarcadores genotóxicos e histopatológicos para evaluar el efecto de los</p>

			<p>branquias fue de $0,0543 \pm 0,0001$ y $0,027 \pm 0,002$ respectivamente, en hepatopáncreas fue de $0,018 \pm 0,005$ y $0,759 \pm 0,081$ respectivamente y en agua no fue detectable.</p> <p>La concentración de plomo (valores en mg/kg), en estaciones seca y humeda, en branquias fue de $0,045 \pm 0,003$ y $0,029 \pm 0,003$ respectivamente, en hepatopáncreas fue de $0,037 \pm 0,005$ y $0,066 \pm 0,004$ respectivamente, y en agua no fue detectable.</p> <p>La concentración de mercurio (valores en mg/kg), en la estación seca en branquias fue de $0,009 \pm 0,001$ y en la estación humeda no se detectó, en hepatopáncreas fue de $0,036 \pm 0,003$ y $0,030 \pm 0,003$ respectivamente, y en agua no se detectó.</p>	<p>químicos, se muestra de forma general que no se superan los límites impuestos para esta especie, aunque se cuenta con información donde dice que, hasta en bajas concentraciones los metales pueden ser tóxicos y dañinos.</p>	<p>metales en la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> L.) presente en la laguna de sonso (valle del cauca), [en línea] En: Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.), 2010, Vol 22, p. 109-121 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/download/revistas/2010(2)/art9.pdf</p> <p>)</p>
--	--	--	---	---	---

<p><i>Ancistrus brevifilis</i></p> <p>Rio Manzanares, Venezuela</p>	<p>Omnívora</p>	<p>Glisofato</p>	<p>Cantidad de MN</p> <p>Entre 2 y 3 MN / 1000 células.</p>	<p>El ensayo de toxicidad aguda con glifosato pudo evidenciar consecuencias dañinas sobre la molécula de ADN en células sanguíneas del pez <i>A. brevifilis</i>, a pesar de las diferentes afirmaciones que señalan la corta actividad biológica del herbicida.</p>	<p>LÁREZ, Carol Yovana. Genotoxicidad en células sanguíneas de la guaraguara <i>Ancistrusbrevifilis</i> (Eigenmann, 1920), bajo condiciones controladas y en condiciones naturales en dos localidades del rio manzanares, estado sucre, Venezuela, [en línea], Trabajo de grado Magister scientiarum en biología aplicada mención ecotoxicología. Cumaná: Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias, 2011. Resumen, p.14 y 28 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2267/1/Pg-LarezCarol.pdf].</p>
<p>-<i>Pimelodus maculatus</i> (Bagre Amarillo) -<i>Leporinus friderici</i> (Leporino manchado)</p> <p>Rio paraguay en el pantanal brasileño, Caceres, Mato Grosso, Brasil</p>	<p>-<i>Pimelodus maculatus</i> (Bagre Amarillo): Omnívora -<i>Leporinus friderici</i> (Leporino manchado): Omnívora</p>	<p>Cromo</p>	<p>Frecuencia de MN - <i>Pimelodus maculatus</i> (Bagre Amarillo) Estacion lluviosa: 0.735%, 0.729%, 0.407% MN / 1000 Células Estacion seca: 0.881%, 0.812%, 0.500% MN /</p>	<p>“Distintas especies de peces pueden responder de modos diferentes a un determinado agente genotóxico. Así, cuando se comparan las tasas de MN y MNC inducidas en <i>P. maculatus</i> y <i>L. Friderici</i> eritrocitos en los sitios 1 y 3 en la temporada seca, las tasas más altas se verificaron en <i>P.</i></p>	<p>SARTINI, Vania María, et.al. In situ assessment of the Paraguay River Water, in Brazilian Pantanal, by means of Micronucleus Assay with Fish and chemical analysis, [en línea] En: Bulletin of Environmental Contamination and</p>

			1000 Células - <i>Leporinus friderici</i> (Leporino manchado) Estacion seca: 0.788%, 0.368% MN / 1000 Células	<i>maculatus</i> , demostrando que es un centinela más sensible.”	Toxicology, Abril, 2013, Vol 90, No. 4, p.427-433 [Consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=da2cd672-24ed-4cc5-83ce-d3182de6882e%40sessionmgr4005&vid=1&hid=4113
<i>Cyprinus carpio</i> (La carpa común) Centro acuícola carpícola Tiacaque, Estado de México, Mexico	Omnívora	Mercurio	Frecuencia de micronuleos con una exposición a 1/10 CL50 Hg (0.01mg/L): -A 12 horas de exposición:10% MN/1000 células - A 24 horas de exposición: 27% MN/1000 células aprox. -A 48 horas de exposición: 26% MN/1000 células aprox. -A 72 horas de exposición: 17% MN/1000 células aprox -A 96 horas de exposición 15% MN/1000 células aprox.	El Hg es un agente genotóxico y citotóxico, puesto que se evidenció un aumento en la frecuencia de micronúcleos, como también en la proporción de células apoptóticas en los eritrocitos de la carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>), el deterioro en los dos casos depende de la concentración y el tiempo de exposición	NÚÑEZ, Judith Angélica, et al. Daño genotóxico y citotóxico producido por mercurio sobre células sanguíneas de (<i>Cyprinus carpio</i>), [en línea], México D.F: UAEMex, [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ameqa.org/AMEQA/IV_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20BB03.pdf

<p><i>Salmo trutta fario</i> (Trucha marrón)</p> <p>Laboratorio de antropogenética y laboratorio de ecología, Universidad libre, Bruselas, Belgica</p>	Carnívora	Bifenilos policlorados	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>1.0\pm0.7 % MN / 1000 Células, a los 14 días de tratamiento con los bifenilos policlorados.</p>	Los datos señalan que el PCB77 (Bifenilos policlorados) no genera roturas de cadenas dobles o individuales que se puedan detectar con la el Test de micronúcleos y el ensayo cometa, en los eritrocitos de trucha marrón.	BELPAEME, K. et.al. Cytogenetic studies of PCB77 on Brown trout (<i>Salmo trutta fario</i>) using the micronucleus test and the alkaline comet assay, [en línea] En: Mutagénesis, 1996, vol.11 No.5 p.485-492, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://mutage.oxfordjournals.org/content/11/5/485.full.pdf
<p><i>Dicentrarchus labrax</i> (Róbalo)</p> <p>Universidade do Porto, Porto, Portugal</p>	Carnívora	Fenantreno y nitrito	<p>Cantidad de MN</p> <p>Aproximadamente 45 MN/ 1000 Células a los 6 días de exposición a fenantreno.</p> <p>Aproximadamente 5 MN/ 1000 Células, a los 6 días de exposición s fenentreno mas nitrito.</p>	Para identificar la capacidad genotóxica del PHE (Fenantreno) y sus metabolitos se estudió la presencia de micronúcleos en los eritrocitos de róbalo. La exposición al PHE generó un incremento significativo en la cantidad de micronúcleos a los 3 y 6 días (tres veces y cinco veces más, respectivamente) de exposición a este PAH. Cabe resaltar que con la presencia de NO ₂ – en el agua no hubo modificaciones en la cantidad de micronúcleos.	REIS, MA. et al. Phenanthrene and nitrite effects on juvenile sea bass, <i>Dicentrarchus labrax</i> , using hepatic biotransformation enzymes, biliary fluorescence, and micronuclei as biomarkers [en línea]. En: Ciencias Marinas, 2009, Vol 35, No. 1, p. 29–40 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v35n1/v35n1a3.pdf

<p><i>Channa punctatus</i> (Cabeza de serpiente manchada)</p> <p>Laboratorios Oficina Nacional de Recursos Genéticos de Peces, Canal Ring Road, India</p>	Carnívora	Malatión	<p>La frecuencia mas alta de micronucleos fue de 0.3 % MN / 2700 Células al tercer dia de exposición a la concentración subletal I</p>	<p>Los resultados de este trabajo en cuanto a la genotoxicidad potencial del malatión indica una gran preocupación por su peligro potencial para los organismos acuáticos, en especial para los peces, y de forma indirecta a las personas.</p>	<p>KUMAR, Ravindra. et al. Investigation of the genotoxicity of Malathion to freshwater Teleost Fish <i>Channa punctatus</i> (Bloch) Using the Micronucleus Test and Comet Assay [en línea]. En: Arch Environ Contam Toxicol, 2010, Vol. 58, p. 123–130 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=5570bbfa-fe22-4246-ac8e-eeb28f08ba40%40sessionmgr4002&hid=4105</p>
<p><i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común)</p> <p>Planta de potabilización de Castiglione del Lago (Perugia, Italia)</p>	Omnívora	Desinfectantes para potabilización de agua: hipoclorito de sodio, ácido peracético y dióxido de cloro	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Agua de lago sin tratamiento: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 dias se tiene una frecuencia de micronucleos de 0.5 ± 0.24 / 25.000 células</p> <p>Agua de lago con CH₃COO₂H: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 dias se tiene una frecuencia de micronucleos de $1 \pm$</p>	<p>No hay diferencias significativas en ningún experimento en la frecuencia de micronúcleos entre las poblaciones de peces en las cuatro cuencas en el tiempo 0, es decir justo antes del comenzar la exposicion al agua desinfectada; se evidencia uniformidad en las condiciones de partida.</p>	<p>BUSCHINI, A, et al. Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of <i>Cyprinus carpio</i> specimens exposed in situ to lake waters treated with disinfectants for potabilization [En línea] En: Mutation Research, 2004, Vol 557, p. 119-129 [consultado el 17 de Abril de 2015.] Disponible en internet:http://www.researchgate.net/profile/Annmaria_Buschini/publication/8915251_Comet_assay_and_micronucleus_test_i</p>

			<p>0.33 / 25.000 células</p> <p>Agua de lago con NaClO: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 días se tiene una frecuencia de micronucleos de 2.5 ± 0.50 / 25.000 células</p> <p>Agua de lago con ClO₂: En el último mes de exposición (Junio de 2001), A los 20 días se tiene una frecuencia de micronucleos de 1.8 ± 0.41 / 25.000 células</p>		n_circulating_erythrocytes_of_Cyprinus_carpio_specimens_exposed_in_situ_to_lake_waters_treated_with_disinfectants_for_potabilization/links/00463539594dfeab1c000000.pdf.
<p><i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)</p> <p>Universidad de Asiut, Asiut, Egipto</p>	Omnívora	4-nonilfenol	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Tratamiento de control $0.2 \pm 0.42\%$ / 1000 células</p> <p>Tratamiento a 0.05 mg/l 4- nonilfenol $1 \pm 0.816\%$ / 1000 células</p> <p>Tratamiento a 0.08 mg/l 4- nonilfenol $1.9 \pm 0.99\%$ / 1000 células</p> <p>Tratamiento a 0.1 mg/l 4- nonilfenol $4.2 \pm 2.44\%$ / 1000 células</p>	Los resultados revelaron que el 4-nonilfenol es altamente tóxico para el bagre <i>C. gariepinus</i> . La toxicidad del 4-nonilfenol en el bagre se incrementó con el aumento de sus concentraciones.	MEKKAWY, Imam A; MAHMOUD, Usama M y SAYED, Alaa El-Din. Effects of 4-nonylphenol on blood cells of the African catfish <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822) [en línea]. En: Tissue and Cell. Agosto, 2011, Vol. 43, No. 4, p. 223–229 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816611000474?

<p><i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)</p> <p>Laboratorio húmedo de pesca, Universidad de Nigeria Nsukka, Nigeria.</p>	Omnívora	Praziquantel	<p>Frecuencia de MN</p> <p>2.78% MN / 1500 Células, a los 10 días de exposición al praziquantel.</p>	<p>Los resultados del presente estudio indican que la exposición de <i>C. gariepinus</i> a PZQ dio lugar a la inducción de micronúcleos y a cambios en los parámetros hematológicos y bioquímicos.</p>	<p>NWANI, Christopher. et al. Mutagenic and physiological responses in the juveniles of African catfish, <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell 1822). following short term exposure to praziquantel. [en línea]. En: Tissue And Cell. Agosto, 2014, Vol. 46, No. 4, p. 264-273, [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816614000482?</p>
<p><i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)</p> <p>Universidad de Asiut Egipto.</p>	Omnívora	Plaguicida carbofurano	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>Tratamiento control</p> <p>0.20 ± 0.004 % MN / 1000 Células</p> <p>Tratamiento 1= 0.16mg/L</p> <p>2.26 ± 0.05 % MN / 1000 Células</p> <p>Tratamiento 2 : 0.49mg/L</p> <p>8.77 ± 0.19 % MN / 1000 Células</p>	<p>Los resultados muestran que la exposición del bagre africano <i>Clarias gariepinus</i> a concentraciones subletales de carbofurano (0.16 and 0.49 mg/L) dio lugar a muchas alteraciones morfológicas en eritrocitos y se generaron algunos tipos de células patológicas.</p>	<p>HARABAWY, Ahmed S.A. e IBRAHIM, Ahmed. Th.A. Sublethal toxicity of carbofuran pesticide on the African catfish <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822): Hematological, biochemical and cytogenetic response [en línea]. En: Ecotoxicology and Environmental Safety. Mayo, 2014, Vol. 103, p. 61–67 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651313004077</p>

<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia nilótica)</p> <p>Universidad de Benha, Egipto</p>	<p>Omnívora</p>	<p>Malatión</p>	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Tratamiento control + 5ppm Malatión 9.00\pm0.83% / 2000 células</p> <p>Polen+ 5ppm Mal. 5.60\pm0.60% / 2000 células</p> <p>Propóleo + 5ppm Mal. 6.40\pm0.51% / 2000 células</p>	<p>El tamaño y la posición de los micronúcleos en el citoplasma mostraron una ligera variación y, generalmente un micronúcleo por célula era observado. El malatión indujo un aumento significativo ($P < 0.05$) en la frecuencia de MN en el grupo Gr3 (alimentados con una dieta comercial estándar) en comparación con un grupo de control de placebo (C) (9.00 ± 0.83 vs. 2.60 ± 0.40), lo que confirma su potencial genotóxico para los peces.</p>	<p>KANDIEL, Mohamed M.M. et al. Modulation of genotoxicity and endocrine disruptive effects of malathion by dietary honeybee pollen and propolis in Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) [en línea]. En: Journal Of Advanced Research. Noviembre, 2014, Vol. 5, No. 6, p. 671-684 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S2090123213001367?</p>
<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica) y <i>Mugil cephalus</i> (Mujol)</p> <p>Lago Qaroun, Egipto</p>	<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia): Omnívora</p> <p><i>Mugil cephalus</i> (Mujol): Carcinófaga, planctófaga, iliófaga.</p>	<p>Metales pesados: Cu, Zn, Pb, Fe y Mn</p>	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Sitio 1 (sitio de referencia) <i>Oreochromis niloticus</i> 5.0 \pm0.50% MN / 2000 células</p> <p><i>Mugil cephalus</i> 2.75 \pm 0.56% MN / 2000 células</p> <p>Sitio 2 (Lago Qaroun) <i>Oreochromis niloticus</i> 34.50 \pm 1.60% MN / 2000 células</p>	<p>Hubo diferencias altamente significativas en la frecuencia de MN en ambas especies de peces recogidos de los sitios de estudio. Ambas especies se recolectaron del lago Qaroun y los cultivos de peces a su alrededor mostraron un aumento significativo en la frecuencia de MN en comparación con los peces muestreados en el sitio de referencia.</p>	<p>OMAR, Wael A. et al. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, <i>Oreochromis niloticus</i> and <i>Mugil cephalus</i>, from highly degraded aquatic habitats [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Julio, 2012, Vol. 746, No. 1, p. 7-14. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponibile en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571812000770?</p>

			<p><i>Mugil cephalus</i> 18.75 ± 2.66% MN / 2000 células</p> <p>Sitio 3 (Piscifactorias en Qaroun) <i>Oreochromis niloticus</i> 23.25 ± 1.40% MN / 2000 células</p> <p><i>Mugil cephalus</i> 10.0 ± 2.07 % MN / 2000 células</p>		
<p><i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo) y <i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)</p> <p>Rio Anambra (Nigeria)</p>	<p><i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo): Omnívora</p> <p><i>Synodontis clarias</i> (Nicuro): Omnívora</p>	<p>HAP, (hidrocarburos aromáticos policiclicos), Cobre y Zinc.</p>	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>En branquias <i>Synodontis clarias</i> 4.39 ± 1.952% MN /1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 2.70 ± 1.731% MN /1000 células</p> <p>En riñones <i>Synodontis clarias</i> 2.94 ± 2.0733% MN /1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 1.73 ± 1.429% MN</p>	<p>El estudio mostró que en general la incidencia de micronúcleos en las especies de peces (<i>Clarias</i> <i>Synodontis</i> y <i>Tilapia nilotica</i>) son excelentes biomarcadores para la vigilancia de la contaminación de agua dulce. Esto es así ya que los peces criados bajo condiciones ideales (control), aparentemente muestran niveles insignificantes de micronúcleos.</p>	<p>OBIAKOR, M.O.; OKONKWO, J.C, Y EZEONYEJIAKU, C.D. Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by in vivo micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes. [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. Diciembre, 2014, Vol. 775-776, p. 20-30 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co</p>

			<p>/1000 células</p> <p>Tratamiento control En branquias: <i>Synodontis clarias</i> 0.20 ± 0.0 % MN / 1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 0.1 ± 0.0% MN / 1000 células</p> <p>En riñones <i>Synodontis clarias</i> 0.11 ± 0.01% MN / 1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> 0.048 ± 0.002% MN / 1000 células</p>		:2074/science/article/pii/S1383571814002599?
<p><i>Clarias gariepinus</i> (Bagre africano)</p> <p>Mercado Electrónico Internacional de Alaba Ojo, Lagos, Nigeria.</p>	Omnívora	Metales pesados: Pb, Cd, Cu, Cr, Fe, Zn, Ni, Ag,	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Agua de pozo de Alaba con un tratamiento del 100% a los 28 días.</p> <p>3.93 ± 0.81% MN / 2000 células</p> <p>Lixiviados de Alaba raw con un tratamiento del 50% a los 28 días.</p> <p>8.77 ± 0.91% MN / 2000 células</p>	<p>Los lixiviados de desechos electrónicos y el agua de pozo contaminada indujo cytogenotoxicidad en <i>C. gariepinus</i></p> <p>Los metales pesados y compuestos orgánicos presentes en las muestras analizadas provocaron el daño observado ADN a través de la formación de ROS.</p>	<p>BAKARE, Adenkule A. et.al. In Vivo Cytogenotoxicity and Oxidative Stress Induced by Electronic Waste Leachate and Contaminated Well Water [en línea]. En: Challenges. Julio, 2013, Vol. 4, p. 169-187 [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=eaf7a4b-b-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105</p>

<p><i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo) y <i>Synodontis clarias</i> (Nicuro)</p> <p>Estado de Anambra, Nigeria.</p>	<p><i>Tilapia nilotica</i> (Tilapia del nilo): Omnívora</p> <p><i>Synodontis clarias</i> (Nicuro): Omnívora</p>	<p>Cobre y Zinc</p>	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar <i>Synodontis clarias</i> Variacion frecuencia de MN debida al cobre: 2.50±1.8, 1.80± 0.2, 2.00± 1.4% MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Zinc: 3.00± 0.2, 1.10± 0.7, 2.80± 1.2 % MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc: 3.70± 2.4 2.40±0.3 3.50± 2.1% MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc después de 96 horas en agua limpia:</p> <p>3.50±2.2, 2.30±1.6, 3.30± 1.5% MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN en tratamiento de control: 0.90± 0.3% / 1000 células</p> <p><i>Tilapia nilotica</i> Variacion frecuencia de MN debida al cobre:</p>	<p>El estudio mostró el efecto genotóxico de la mezcla única y binaria de Cu y Zn, incluso a exposición a corto plazo y su no dependencia de la dosis. Esta era una desviación significativa cuando los niveles de toxicidad de las mezclas se compararon con los niveles de toxicidad de los metales individuales.</p>	<p>OBIAKOR, M. O. et al. Genotoxicology: Single and Joint Action of Copper and Zinc to <i>Synodontis clarias</i> and <i>Tilapia nilotica</i>. [en línea]. En: Journal Of Applied Sciences & Environmental Management. Septiembre, 2010, Vol. 14, No. 3, p. 59-64. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105</p>
---	---	---------------------	---	---	---

			<p>1.60±1.8 1.90±1.2 % MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Zinc: 0.80±1.5 2.40±2.0 % MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc: 1.90±1.3, 3.10±1.4% MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN debida al Cobre junto con el Zinc después de 96 horas en agua limpia:</p> <p>0.80±0.7, 1.00±1.7% MN / 1000 células</p> <p>Variacion frecuencia de MN en tratamiento de control: 0.60±0.2% MN / 1000 células</p>		
<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica)</p> <p>Centro Nacional de Investigaciones, Dokki, El Cairo, Egipto</p>	Omnívora	Esterigmatocistina	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>En tratamiento de control: 3.5 ± 0.5 % MN / 2000 células</p> <p>En exposición a Esterigmatocistina: 36.75 ± 3.49% MN / 2000 células</p>	Los resultados de este estudio indican que EM tiene una alta afinidad por Stg in vitro, formando una adsorción compleja que era estable bajo diferentes pHs a 37 °C. Además, la estabilidad de este complejo era muy alta cuando se extrajo con diferentes disolventes orgánicos.	<p>ABDEL-WAHHAB, Mosaad A. et al. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (<i>Oreochromis niloticus</i>). [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic Toxicology And</p>

			<p>En exposición a Montmorillonita: 6.5 ± 1.1% MN / 2000 células</p> <p>En exposición a Esterigmatocistina junto con Montmorillonita: 16.5 ± 2.29% MN / 2000 células</p> <p>Por control de solvente: 5.25 ± 0.82% MN / 2000 células</p>		<p>Environmental Mutagenesis. 4 de Abril, 2005, Vol. 582, No. 1 – 2, p. 20 – 27 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571804003596?</p>
<p><i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia Nilótica)</p> <p>Universidad de Asiut, Asiut, Egipto</p>	Omnívora	<p>Dos cepas patogénicas de hongos zoosporic (<i>Achlya klebsiana</i> y <i>Aphanomyces laevis</i>)</p>	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>En tratamiento de control: 7.7±1.53% MN /1000 células, a los 30 días de tratamiento.</p> <p><i>Achlya klebsiana</i>: 57.3±2.3% MN /1000 células, a los 30 días de tratamiento</p> <p><i>Aphanomyces laevis</i> 34.7 ± 5.03% MN /1000</p>	<p>La tilapia del Nilo expuesta al hongo zoosporic sometido a las pruebas de MN, LN y CA mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al control de los testigos. También, aumentó significativamente (p <0,001) en micronúcleos y frecuencias de lesiones nucleares y el porcentaje del daño en el ADN se registró con el aumento de la exposición en el tiempo.</p>	<p>OSMAN, A. et al. Genotoxicity of two pathogenic strains of zoosporic fungi (<i>Achlya klebsiana</i> and <i>Aphanomyces laevis</i>) on erythrocytes of Nile tilapia <i>Oreochromis niloticus niloticus</i>. [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2010, Vol. 73, No. 1, p. 24-31 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet:</p>

			células , a los 30 días de tratamiento		http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651309001808?
<p><i>Carassius auratus</i> (Carpín dorado)</p> <p>Universidad de Uludag, Bursa, Turquía</p>	Omnívora	La atrazina y un herbicida a base de atrazina (Gesaprim®)	<p>Frecuencia de MN</p> <p>Con 15 µg/L de atrazina : 3.14 % MN / 2000 células</p> <p>Con 15 µg/L de Gesaprim: 4.65% MN / 2000 células</p>	El tratamiento con atrazina no causó aumentos significativos en las frecuencias de eritrocitos micronucleados. El tratamiento con Gesaprim indujo significativamente la frecuencia de micronúcleos en todos los grupos experimentales con respecto a la grupo de control (P <0,05) con las excepciones de 5 y µg / l en el segundo día (P> 0,05).	CAVAS, Tolga. In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish <i>Carassius auratus</i> using the micronucleus test and the comet assay. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Junio, 2011, Vol. 49, No. 6, p.1431-1435 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0278691511001219?
<p><i>Channa punctatus</i> (Bloch) (Cabeza de serpiente manchada)</p> <p>Oficina Nacional de Recursos Genéticos de peces (Consejo Indio de Investigación Agrícola), Canal Ring Road, PO-Dilkusha, Lucknow 226 002, UP, India</p>	Carnívora	Rasayanzine (herbicida a base de atrazina)	<p>Frecuencia de MN ± Desv. Estándar</p> <p>A 8.48 mg L⁻¹ de atrazina a los 35 días: 0.133 ± 0.066 % MN / 1500 células.</p>	El daño en el ADN medido como % de ADN de la cola en el eritrocito y células de branquias de control y grupos de tratamiento indicaron que los peces expuestos para el control positivo y a diferentes concentraciones de atrazina evidenciaron daños significativamente mayores de ADN (p <0.01) en sus tejidos que en las muestras control negativo.	NWANI, C.D. et al. Mutagenic and genotoxic assessment of atrazine-based herbicide to freshwater fish <i>Channa punctatus</i> (Bloch) using micronucleus test and single cell gel electrophoresis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Marzo, 2011, Vol. 31, No. 2, p. 314-322 [consultado el

					27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668910002085?
<p><i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (locha)</p> <p>Rio amarillo, Yanjin (Henan, China)</p>	Omnívora	8-hidroxi-quinoleína	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>A 14.516 mg l⁻¹ de 8-HOQ, a los 6 días de tratamiento: 11.522\pm1.768 % MN / 1000 células.</p>	La frecuencia de MN fue mayor con el aumento de las concentraciones de 8-HOQ, y mostró una relación evidente dosis-efecto. Además, estas diferencias fueron significativas y se correlacionaron con la longitud de tiempo de exposición el cual muestra una relación tiempo-efecto.	<p>NAN, Ping. et al. Genotoxic effects of 8-hydroxylquinoline in loach (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>) assessed by the micronucleus test, comet assay and RAPD analysis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Mayo, 2013, Vol. 35 No. 3, p. 434-443. [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668913000215?</p>
<p><i>Carassius auratus auratus</i> (Carpín dorado)</p> <p>Universidad de Mersin, Mersin, Turquía</p>	Omnívora	Cloruro de mercurio y acetato de plomo	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>A 10 µg/L de cloruro de mercurio:</p> <p>Eritrocitos: 5.71 \pm 0. 61 % MN / 1500 células, a los 6 días de tratamiento:</p> <p>Branquia: 9.26 \pm 1.33% MN / 1500 células, a los</p>	Los resultados de este estudio demostraron que los peces de colores no sólo es una importante especie de peces ornamentales, sino también un modelo útil para estudios biológicos y aunque muchas especies de peces son poliploides y su cariotipo no es estable, los resultados de estudios previos demostraron la estabilidad cariotípica de <i>Carassius auratus auratus</i>	<p>ÇAVAŞ, Tolga. In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: Micronucleus test on acridine orange stained fish cells. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Enero, 2008, Vol. 46, No. 1, p. 352-358 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S027869150700302X?</p>

			<p>6 días de tratamiento.</p> <p>Aleta: 5.53 ± 1.10 % MN / 1500 células, a los 7 días de tratamiento.</p> <p>A 100 µg/L de acetato de plomo:</p> <p>Eritrocitos: 6.70 ± 1.38% MN / 1500 células, a los 6 días de tratamiento</p> <p>Branquia: 12.06 ± 1.66% MN / 1500 células, a los 6 días de tratamiento</p> <p>Aleta: 4.86 ± 0.87 % MN / 1500 células, a los 7 días de tratamiento.</p>		
<p><i>Oreochromis mossambicus</i> (Tilapia del Mozambique)</p> <p>Universidad de Dhaka, Dhaka-1000, Bangladesh</p>	Omnívora	Arsenico de sodio (NaAsO ₂)	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>El valor mas alto de MN se registró a 56 ppm de arsenico de sodio, despues de 96 horas de exposicion:</p> <p>5.8 ± 0.46 % / 500 células</p>	<p>La exposición a diferentes concentraciones de NaAsO₂ aumentó significativamente la frecuencia MNi en las muestras de peces expuestos más que en el grupo control a las 96 h y 192 h de exposición, mientras que, hubo una tendencia de disminución en la frecuencia MNi después de 192 h de exposición dentro de los grupos de concentración.</p>	<p>AHMED, Kawser. et al. Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>) using alkaline comet assay and micronucleus test. [en línea]. En: Chemosphere. Junio, 2011, Vol. 84, No.1, p.143-149. [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653511001585?</p>

<p><i>Cyprinus carpio</i> L. (Carpa común)</p> <p>Universidad de Gazi, Ankara, Turquía</p>	Omnívora	Fenitrotión	<p>Frecuencia de MN \pm Desv. Estándar</p> <p>Por exposición al Fenitrotión: 6.43 ± 3.89 % MN / 1000 células.</p>	<p>El tratamiento con fenitrotión aumentó significativamente la frecuencia de micronúcleos ($6,43 \pm 3,89\%$) en comparación con el grupo control ($1,29\% \pm 1,03$), y también se observaron anomalías nucleares en el grupo experimental.</p>	<p>SEPICI-DINCEL, Aylin. et al. Genotoxicity assessment of carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.) fingerlings by tissue DNA damage and micronucleus test, after environmental exposure to fenitrothion. [en línea] En: Toxicology Mechanisms and Methods. 2011, Vol. 21, No. 5, p. 388-392 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=27&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105</p>
<p><i>Channa punctatus</i> (Cabeza de serpiente manchada)</p> <p>Universidad Musulmana Aligarh, Aligarh-202002, India</p>	Carnívora	Pentaclorofenol (PCP) y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)	<p>Cantidad de MN</p> <p>Exposición a PCP Cantidad más alta registrada de MN: 1088 MN / 1000 células.</p> <p>Exposición a 2,4-D Cantidad más alta registrada de MN: 604 MN / 1000 células.</p>	<p>Se obtuvieron resultados significativos con PCP y 2,4-D en cuanto a la inducción de micronúcleos y otra alteraciones celulares en los eritrocitos de <i>C. punctatus</i>.</p>	<p>ABUL FARAH, M. et al. Evaluation of genotoxicity of PCP and 2,4-D by micronucleus test in freshwater fish <i>Channa punctatus</i>. [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2003, Vol. 54, No. 1, p. 25-29 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651302000374?</p>

<p><i>Carassius auratus</i> (Pez de colores)</p> <p>La ciudad de Hamamatsu, Japón.</p>	Omnívora	Lixiviados en vertederos, LC50 de NaCl, amonio.	La frecuencia más alta registrada de MN fue de aproximadamente 12 % MN / 1000 células.	La mutagenicidad de lixiviados crudos y tratados de vertederos se evaluó mediante la prueba de micronúcleos y el ensayo cometa utilizando peces de colores. Se sugirió una combinación de los dos bioensayos para que pueda ser una herramienta potencial para biomonitorrear los mutágenos / carcinógenos en un ambiente acuático.	DEGUCHI, Yuya. et al. Evaluation of mutagenic activities of leachates in landfill sites by micronucleus test and comet assay using goldfish. [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic. 5 de Marzo, 2007, Vol. 627, No. 2, p.172-185 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571806004013?
<p><i>Carassius Carassius L.</i> (El carpín)</p> <p>Kashmir, India</p>	Omnívora	Endosulfán	<p>Frecuencia de MN</p> <p>Concentracion subletal de endosulfan (0.052 ppm): 3.733 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición.</p> <p>Concentracion subletal de endosulfan (0.035 ppm): 2.021 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición.</p> <p>Concentracion subletal de endosulfan (0.017 ppm): 1.113 % MN / 1000 células, a los 35 días de exposición.</p>	La formación de micronúcleos (MN), autenticado por la exploración microscópica electrónica, y las aberraciones cromosómicas (AC), se indujeron de forma significativa ($p < 0,05$) en todo los grupos tratados, incluyendo el ciclofosfamida de control positivo (4 ppm), en comparación con el control negativo. Del mismo modo la peroxidación lipídica (LPO) se indujo significativamente con la máxima concentración (SL-I), el 4 día (722,45%; $p < 0,01$).	DAR, Sabzar. et al. Assessment of endosulfan induced genotoxicity and mutagenicity manifested by oxidative stress pathways in freshwater cyprinid fish crucian carp (<i>Carassius carassius L.</i>) [en línea]. En: Chemosphere. Febrero, 2015, Vol. 120, p. 273-283 [consultado el 30 de Abril de 2015], Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653514008911?

<p><i>Channa punctatus</i></p> <p>(Cabeza de serpiente manchada)</p> <p>Universidad Musulmana Aligarh, Aligarh-202002, India</p>	Carnívora	Cloruro de cadmio	Cantidad más alta registrada de MN: 799 MN / 2000 células	El presente estudio revela que el cadmio es un químico clastogénico que induce varias anormalidades cromosómicas y genera el aumento de células micronucleadas en los peces. Por lo tanto, se puede utilizar como un biomarcador para el monitoreo de la contaminación en el ambiente acuático.	<p>PARVEEN, Nuzhat y SHADAB, G.G.H.A. Cytogenetic evaluation of cadmium chloride on <i>Channa punctatus</i>. [en línea] En: Journal Of Environmental Biology, Mayo, 2012, Vol. 33, No. 3, p. 663-666. [consultado el 30 de Abril de 2015] Disponible en Internet: http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=23&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105</p>
--	-----------	-------------------	---	---	---

En la tabla 1, se puede observar que en los estudios de más de una especie, por lo general habrá una especie que resulte ser más sensible a los agentes contaminantes que las demás especies, esto dependiendo de factores como la fisiología del pez, el tipo de contaminante al que se haya expuesto, concentración del contaminante al que se expuso, etc. Las especies que resultaron ser más sensibles fueron: *Astyanax eigenmanniorum*, (Mojarra piava), *Xenotoca melanosoma* (Mexcalpique negro), *Goodea atripinis*, *Oreochromis mossambicus*. (Tilapia del mozambique), *Odontesthes argentinensis* (Pejerrey escardón), *Prochilodus magdalenae*, (Bocachico), *Clariasga riepinus*, *Hoplias malabaricus* (La talarira), *Cyphocharax magdalenae* (La yalúa), *Pimelodus maculatus* (Bagre Amarillo), *Oreochromis niloticus* (Tilapia Nilótica), *Synodontis clarias* (Nicuro), lo cual indica que el Test de Micronúcleos en peces si resulta ser una herramienta efectiva para medir la calidad del agua.

En la tabla 2 se pudo evidenciar que la mayoría de trabajos realizados fueron en laboratorios. Es posible observar también que se analizaron distintos tejidos de los peces tales como: Branquias, riñones, cerebro, corazón, vena caudal, aleta caudal, vasos caudales, gonadas, entre otros, pero los más estudiados fueron tejidos de branquias y de la vena caudal. Las especies más estudiadas en experimentos de laboratorio fueron: *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo), *Cyprinus carpio* (La carpa común), *Clarias gariepinus* (Bagre africano), y *Channa punctatus* (Cabeza de serpiente manchada).

En la tabla 3 se observan las distintas frecuencias de micronúcleos, se puede identificar que la cantidad de células analizadas es variable, sin embargo en la mayoría de investigaciones y trabajos se trabaja con MN/1000 y 2000 células. Se evidencia que en la mayoría de investigaciones y trabajos se presenta una frecuencia de micronúcleos concluyente, es decir que se comprueba en la mayoría de los casos que el Test de Micronúcleos en peces sí es un indicador efectivo para medir la contaminación en un cuerpo de agua. La forma más usual de presentar los resultados en las investigaciones y trabajos citados en esta monografía es en Valor de MN/ # de Células y también mediante explicaciones cualitativas de los resultados obtenidos, es decir, se presentan resultados en forma cuantitativa y cualitativa. Se concluye en cada trabajo la efectividad o no de los experimentos realizados y qué peces resultan ser útiles en estos.

En la tabla 4 se observa que entre las especies estudiadas hay especies carnívoras, detritívoras, herbívoras, omnívoras, entre otras, pero la mayoría resultaron ser carnívoras y omnívoras. Entre los contaminantes que más se usaron para la etapa experimental de las investigaciones fueron: Metanol, mercurio, ciclofosfamida, etanol. También es posible observar como la mayoría de trabajos fueron realizados en México, lo cual sugiere que en este país se ha hecho un gran esfuerzo por profundizar en esta temática y aportar al conocimiento científico con sus investigaciones.

Se puede observar en toda la información recolectada al respecto, que se ha hecho un gran esfuerzo por validar y probar el Test de micronucleos en peces a nivel mundial como un indicador efectivo de contaminación acuática. Cada trabajo fue realizado con mucha rigurosidad y esfuerzo, donde se ve reflejado en los resultados de este todo el trabajo que se hizo en cada investigación.

La metodología de los trabajos en general, consistía en recolectar los peces del agua, luego se les realiza un procedimiento, para lo cual se extrae sangre de los organismos, también se realizan biopsias de determinadas partes del cuerpo de estos, se les aplica soluciones químicas para su conservación y como parte del experimento, luego se analizan las muestras de los peces en laboratorio y se comprueba la presencia de genotoxicos en cada especie de pez, como también la frecuencia de micronucleos y anormalidades nucleares. Según la frecuencia de micronucleos presente en cada especie de pez se puede determinar el grado de contaminación o presencia de genotoxicos en estas y así poder determinar la eficacia de cada especie, y con las especies que fueron sensibles a la contaminación presente en sus ecosistemas seguir trabajando para futuros experimentos en otros ecosistemas acuáticos.

En relación con los tratamientos estadísticos empleados en cada investigación, en esta monografía no se profundizó en ellos, sin embargo en los trabajos realizados se hizo uso de distintos programas estadísticos, gráficos de barras, tablas, también se realizaron cálculos de media, mediana, varianza, desviación estándar, cálculos con el modelo ANOVA, entre otros, todo esto puede revelar en forma exacta la eficiencia del Test de micronucleos en peces y la sensibilidad de cada especie. El tratamiento estadístico es una herramienta fundamental para tomar decisiones, ya que además de brindar una información exacta, también da información sobre futuras tendencias de una determinada situación, experimento o problema.

7. DISCUSIÓN

Una gran cantidad de investigadores en todo el mundo han realizado un esfuerzo por verificar y/o comprobar la eficiencia del Test de micro-núcleos en peces. De acuerdo a lo investigado, El Test de micronucleos es una técnica validada a nivel internacional como un bioensayo para evaluar genotoxicidad de sustancias, exposiciones agudas y crónicas, y es una de las más empleadas para reconocer agentes cancerígenos⁶⁴. El Test de micronúcleos en peces es una forma efectiva para monitorear la presencia de xenobióticos en ambientes acuáticos⁶⁵. El Test de MN aplicado en peces, es una herramienta útil para la detección in situ de agentes genotóxicos en ambientes acuáticos cuando los centinelas permanecen en la zona de estudio⁶⁶, pero también cuando se sabe elegir la especie adecuada para el experimento⁶⁷. Para saber elegir la especie idónea, esta debe cumplir con unas características como: fácil manejo, manutención y extracción de sangre para poder realizar los frotis, existencia mínima de 3.5 EMN por cada 10,000 eritrocitos y una RC/N que permita observar con claridad los MN y el núcleo regular, como también la abundancia de la especie y que su colecta sea fácil.⁶⁸

⁶⁴ CASTILLO, Erika; GUEVARA, Maria Luisa y FUJITA, Ricardo. Optimización del test de micronúcleos en linfocitos cultivados usando una metodología de gradiente y frotis, [en línea] En: Rev. peru. biol. Agosto, 2011, Vol 18, No. 2, p. 261 [consultado el 12 de Noviembre de 2015] Disponible en internet: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologia/v18n2/pdf/a22v18n2.pdf>],

⁶⁵ PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. : Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia [en línea] En: Actual Biol, 2009, Vol 31, No. 90, p. 75 [consultado el 12 de Noviembre de 2015] Disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n90/v31n90a6.pdf>]

⁶⁶ GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 12 de Noviembre de 2015] Disponible en Internet: <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf>

⁶⁷ POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anormalidades nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 65 [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf.

⁶⁸ TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 78 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf>

Se evidencia que en la mayoría de trabajos el Test de micronúcleos en peces ha resultado ser un instrumento eficiente para la medición de la contaminación acuática, esto dependiendo de los criterios mencionados anteriormente por distintos autores. Se puede observar que en las investigaciones realizadas, se utilizaron distintos químicos durante la etapa experimental de los proyectos como metanol, mercurio, entre otros. Se puede observar en Latinoamérica que entre los proyectos encontrados, la mayoría fueron realizados en México y Colombia, con lo cual se evidencia que se ha hecho un gran esfuerzo por parte de estas dos naciones en relación con la temática de estudio, en África se evidencia que la mayoría de proyectos encontrados fueron en Egipto y Nigeria, en Asia se pudo encontrar una mayor cantidad de trabajos en India y Turquía y en Europa la diferencia de trabajos realizados entre un país y otro no es mucha. Se ha hecho una ardua labor respecto a la temática de estudio, aunque se puede profundizar aún más al respecto, para mejorar cada día más este instrumento de estudio. Probablemente los estudios realizados respecto al Test de micronúcleos en peces depende de la necesidad de cada país por encontrar instrumentos que permitan evaluar la calidad del agua y por ende mejorarla.

8. CONCLUSIONES

- El Test de micronucleos en peces ha demostrado ser una herramienta efectiva para medir la contaminación acuática, por lo tanto requiere de una mayor profundización en relación con estudiar más la metodología, mejorarla en caso de que sea necesario, puesto que es una herramienta útil para tomar decisiones dentro de la Gestión Ambiental.
- Se evidencia en la información recolectada, que no todas las especies de peces son sensibles a los cambios en el ambiente, en cambio otras si presentan una mayor sensibilidad a estos cambios.
- Para determinar si una especie de pez es sensible a cambios en el ambiente, se mide observando la frecuencia de micronucleos en sus organismos.
- El Test de micronucleos en peces resulta ser una técnica novedosa, eficiente, y muy útil para el campo científico de hoy en día, ya que esta técnica permite medir la contaminación del agua, a través de organismos presentes en ella y no como tal del agua ni de sus propiedades.
- Esta herramienta se puede articular con la Gestión Ambiental, ya que a partir del conocimiento del grado de contaminación de un ecosistema acuático se pueden implementar acciones que propendan por la conservación de este, a través de diferentes actores como las entidades ambientales (CVC, Dagma), comunidades, investigadores, colegios, universidades, empresas, etc. Y también se puede generar una conciencia sobre la conservación de las especies, puesto que muchas de ellas pueden ser herramientas esenciales para tomar decisiones en relación con una problemática ambiental que se esté presentando.

9. RECOMENDACIONES

- Se hace necesario que las distintas entidades ambientales y de gobierno tomen en cuenta la efectividad que el Test de micronucleos en peces ha demostrado tener para medir la contaminación en ecosistemas acuáticos, y con base en esto elaborar planes, programas proyectos en los cuales se incluya esta técnica como referencia para medir el grado de contaminación en un ecosistema acuático específico, así como también tomar medidas medidas preventivas y correctivas según los resultados que generen esta técnica en distintos sitios, dependiendo del grado de contaminación que esta haya revelado.
- Los distintos institutos de investigación deberían incentivar y promover una mayor profundización en esta temática, puesto que ha demostrado ser una herramienta efectiva para medir nivel contaminación acuática.

BIBLIOGRAFÍA

ABDEL-WAHHAB, Mosaad A. et al. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*). [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Abril, 2005, Vol. 582, No. 1 – 2, p. 20 – 27 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571804003596?>

ABUL FARAH, M. et al. Evaluation of genotoxicity of PCP and 2,4-D by micronucleus test in freshwater fish *Channa punctatus*. [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2003, Vol. 54, No. 1, p. 25-29 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651302000374?>

AGUILAR, Alonso. Los peces indicadores de la calidad ecológica del agua, [en línea] En: Revista Digital Universitaria, 10 de Agosto, 2015, Volumen 6, No. 8, p. 1-14 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art78/ago_art78.pdf,

AHMED, Kawser. et al. Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) using alkaline comet assay and micronucleus test. [en línea]. En: Chemosphere. Junio, 2011, Vol. 84, No.1, p.143-149. [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653511001585?>

ALI, Fagr Kh; EL-SHEHAWI, A.M y SEEHY, M.A. Micronucleus test in fish genome: A sensitive monitor for aquatic pollution, [en línea]. En: African Journal of Biotechnology, 4 de Marzo, 2008, Vol 7, No. 5, p. 606-612, [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/58485/46829>

BAKARE, Adenkule A. et.al. In Vivo Cytogenotoxicity and Oxidative Stress Induced by Electronic Waste Leachate and Contaminated Well Water [en línea]. En: Challenges. Julio, 2013, Vol. 4, p. 169-187 [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

BELPAEME, K. et.al. Cytogenetic studies of PCB77 on Brown trout (*Salmo trutta fario*) using the micronucleus test and the alkaline comet assay, [en línea] En: Mutagénesis, 1996, vol.11 No.5 p.485-492, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://mutage.oxfordjournals.org/content/11/5/485.full.pdf>

BOLOGNESI, Claudia y HAYASHI, Makoto. REVIEW, Micronucleus assay in aquatic animals, [en línea] En: Mutagenesis, 2011, vol. 26, No. 1 p. 205–213, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://mutage.oxfordjournals.org/content/26/1/205.full.pdf> ,

BUSCHINI, A, et al. Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of *Cyprinus carpio* specimens exposed in situ to lake waters treated with disinfectants for potabilization [En línea] En: Mutation Research, 2004, Vol 557, p. 119-129 [consultado el 17 de Abril de 2015.] Disponible en internet:http://www.researchgate.net/profile/Annamaria_Buschini/publication/8915251_Comet_assay_and_micronucleus_test_in_circulating_erythrocytes_of_Cyprinus_carpio_specimens_exposed_in_situ_to_lake_waters_treated_with_disinfectants_for_potabilization/links/00463539594dfeab1c000000.pdf.

CÁCERES, Paolín; TELLO, Ángela y TORRES Gerardo. Uso de biomarcadores genotóxicos e histopatológicos para evaluar el efecto de los metales en la tilapia (*Oreochromis niloticus* L. I.) presente en la laguna de sonso (valle del cauca), [en línea] En: Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.), 2010, Vol 22, p. 109-121 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: [http://www.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/download/revistas/2010\(2\)/art9.pdf](http://www.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/download/revistas/2010(2)/art9.pdf)

CARRANZA, Liliana Patricia. Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de mototaxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias [en línea]. Trabajo de grado Magister en Toxicología. Bogota D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina, 2011. p. 35 [consultado el 14 de Agosto de 2014]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4324/1/598934.2011.pdf>

CASTILLO, Erika; GUEVARA, Maria Luisa y FUJITA, Ricardo. Optimización del test de micronúcleos en linfocitos cultivados usando una metodología de gradiente y frotis, [en línea] En: Rev. peru. biol. Agosto, 2011, Vol 18, No. 2, p. 261 - 263 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologia/v18n2/pdf/a22v18n2.pdf>],

CAVAS, Tolga. In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish *Carassius auratus* using the micronucleus test and the comet assay. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Junio, 2011, Vol. 49, No. 6, p.1431-1435 [consultado el 27 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0278691511001219?>

ÇAVAŞ, Tolga. In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: Micronucleus test on acridine orange stained fish cells. [en línea]. En: Food And Chemical Toxicology. Enero, 2008, Vol. 46, No. 1, p. 352-358 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S027869150700302X?>

CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA CHILE. PROGRAMA DE MONITOREO ECOTOXICOLÓGICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES EN EL RIO CRUCES, PROVINCIA DE VALDIVIA CHILE. [en línea] Valdivia: Universidad de Concepción, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.sinia.cl/1292/articles-35166_Cap4.pdf

CORREDOR, Wilson. et.al. Inducción de micronúcleos y otras anormalidades nucleares en *Astyanax gr. Bimaculatus* (Pisces: Characidae) expuestas a fenantreno, [en línea] En: ORINOQUIA SUPLEMENTO - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia, 2012, Vol. 16 – No. 2, p. 237-247 [consultado el 12 de Agosto de 2014] disponible en internet: http://www.researchgate.net/publication/262463623_Induction_of_micronuclei_and_other_nuclear_abnormalities_in_Astyanax_gr._bimaculatus_%28Pisces_Characidae%29_exposed_to_phenanthrene

DAR, Sabzar. et al. Assessment of endosulfan induced genotoxicity and mutagenicity manifested by oxidative stress pathways in freshwater cyprinid fish crucian carp (*Carassius carassius* L.) [en línea]. En: Chemosphere. Febrero, 2015, Vol. 120, p. 273-283 [consultado el 30 de Abril de 2015], Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0045653514008911?>

DEGUCHI, Yuya. et al. Evaluation of mutagenic activities of leachates in landfill sites by micronucleus test and comet assay using goldfish. [en línea]. En: Mut.Res.-Genetic. 5 de Marzo, 2007, Vol. 627, No. 2, p.172-185 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571806004013?>

FLORES, Lola Paulina, et al. Micronúcleos y anormalidades nucleares en el *Goodeido Xenotocamelanosoma* del lago La Alberca en Michoacán, México, [en línea], 2008, p.641 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: [http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/OtrasInstituciones/FloresKehn\(pp641-650\)/641-650.pdf](http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/OtrasInstituciones/FloresKehn(pp641-650)/641-650.pdf)]

GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf>

GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf>

GUTIÉRREZ, Juan Manuel. Micronúcleos en peces como indicadores de calidad ambiental en estuarios de la costa uruguaya [en línea]. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay, 2013 [consultado el 15 de Septiembre de 2015] Disponible en Internet: <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/resumen/uy24-16721R.pdf>

HARABAWY, Ahmed S.A. e IBRAHIM, Ahmed. Th.A. Sublethal toxicity of carbofuran pesticide on the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): Hematological, biochemical and cytogenetic response [en línea]. En: *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Mayo, 2014, Vol. 103, p. 61–67 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651313004077>

KANDIEL, Mohamed M.M. et al. Modulation of genotoxicity and endocrine disruptive effects of malathion by dietary honeybee pollen and propolis in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [en línea]. En: *Journal Of Advanced Research*. Noviembre, 2014, Vol. 5, No. 6, p. 671-684 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S2090123213001367?>

KUMAR, Ravindra. et al. Investigation of the genotoxicity of Malathion to freshwater Teleost Fish *Channa punctatus* (Bloch) Using the Micronucleus Test and Comet Assay [en línea]. En: *Arch Environ Contam Toxicol*, 2010, Vol. 58, p. 123–130 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=5570bbfa-fe22-4246-ac8e-eeb28f08ba40%40sessionmgr4002&hid=4105>

LÁREZ, Carol Yovana. Genotoxicidad en células sanguíneas de la guaraguara *Ancistrusbrevifilis* (Eigenmann, 1920), bajo condiciones controladas y en condiciones naturales en dos localidades del río Manzanares, estado sucre, Venezuela, [en línea], Trabajo de grado Magister scientiarum en biología aplicada mención ecotoxicología. Cumaná: Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias, 2011. Resumen, p.14 y 28 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2267/1/Pg-LarezCarol.pdf>].

MARTÍNEZ, Sergio. El cerdo joven como bioindicador de concentraciones bajas de genotóxicas, mediante la prueba de micronucleos en eritrocitos de sangre periférica [en línea]. Trabajo de grado Doctor en Ciencias básicas. Colima, México: Universidad de Colima. Facultad de Medicina, 2005. p. 21 [consultado el 14 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Dr_Sergio_Martinez_Glz.pdf

MATSUMOTO, F.E y CÓLUS, I.M.S. Micronucleus frequencies in *Astyanax bimaculatus* (Characidae) treated with cyclophosphamide or vinblastine sulfate, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2000, Vol 23, No. 2, p.489-492 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet:<http://www.scielo.br/pdf/gmb/v23n2/2772.pdf>

MATSUMOTO, Silvia. et.al. Genotoxicity y Mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips, [en línea] En: Genetics and Molecular Biology, 2006, Vol 29, No.1, p.148-158 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.scielo.br/pdf/gmb/v29n1/28185.pdf>

MEKKAWY, Imam A; MAHMOUD, Usama M y SAYED, Alaa El-Din. Effects of 4-nonylphenol on blood cells of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) [en línea]. En: Tissue and Cell. Agosto, 2011, Vol. 43, No. 4, p. 223–229 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816611000474?>

NAN, Ping. et al. Genotoxic effects of 8-hydroxyquinoline in loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) assessed by the micronucleus test, comet assay and RAPD analysis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Mayo, 2013, Vol. 35 No. 3, p. 434-443. [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668913000215?>

NÚÑEZ, Judith Angélica, et al. Daño genotóxico y citotóxico producido por mercurio sobre células sanguíneas de (*Cyprinus carpio*), [en línea], México D.F: UAEMex, [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://ameqa.org/AMEQA/V_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20BB03.pdf

NWANI, Christopher. et al. Mutagenic and physiological responses in the juveniles of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). following short term exposure to praziquantel. [en línea]. En: Tissue And Cell. Agosto, 2014, Vol. 46, No. 4, p. 264-273, [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0040816614000482?>

NWANI, C.D. et al. Mutagenic and genotoxic assessment of atrazine-based herbicide to freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) using micronucleus test and single cell gel electrophoresis. [en línea]. En: Environmental Toxicology And Pharmacology. Marzo, 2011, Vol. 31, No. 2, p. 314-322 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1382668910002085?>

OBIAKOR, M.O. et al. Eco-genotoxicology: Micronucleus Assay In Fish Erythrocytes as *in situ* Aquatic Pollution Biomarker: a Review [en línea]. En: J. Anim. Sci. Adv. 2012, Vol. 2, No. 1, p. 123-133 [consultado el 13 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: <http://www.grjournals.com/portals/grjournals/JASA/Vol2%20Issue1/JASA-21-123-133.pdf>

OBIAKOR, M. O. et al. Genotoxicology: Single and Joint Action of Copper and Zinc to *Synodontis clarias* and *Tilapia nilotica*. [en línea]. En: Journal Of Applied Sciences & Environmental Management. Septiembre, 2010, Vol. 14, No. 3, p. 59-64. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

OBIAKOR, M.O.; OKONKWO, J.C, Y EZEONYEJIAKU, C.D. Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by *in vivo* micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes. [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. Diciembre, 2014, Vol. 775-776, p. 20-30 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571814002599?>

OMAR, Wael A. et al. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats [en línea]. En: Mutation Research / Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis. 4 de Julio, 2012, Vol. 746, No. 1, p. 7-14. [consultado el 28 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S1383571812000770?>

OSMAN, A. et al. Genotoxicity of two pathogenic strains of zoosporic fungi (*Achlya klebsiana* and *Aphanomyces laevis*) on erythrocytes of Nile tilapia *Oreochromis niloticus niloticus*. [en línea]. En: Ecotoxicology And Environmental Safety. Enero, 2010, Vol. 73, No. 1, p. 24-31 [consultado en Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2074/science/article/pii/S0147651309001808?>

PALACIO, Isabel; PALACIO, Jaime y CAMARGO, Mauricio. : Aplicación del Test de micronúcleos a las especies ícticas tropicales silvestres comunes en dos ambientes lénticos de las zonas bajas en Colombia [en línea] En: Actual Biol, 2009, Vol 31, No. 90, p. 67-77, [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n90/v31n90a6.pdf>

PARVEEN, Nuzhat y SHADAB, G.G.H.A. Cytogenetic evaluation of cadmium chloride on *Channa punctatus*. [en línea] En: Journal Of Environmental Biology, Mayo, 2012, Vol. 33, No. 3, p. 663-666. [consultado el 30 de Abril de 2015] Disponible en Internet: <http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=23&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (*Prochilodus magdalenae* Y *Oreochromis* sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111, [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba2003v25n79art2.pdf>

PEÑALOZA, Mercedes; CAMARGO, Mauricio y PALACIO, Jaime. GENOTOXICIDAD DEL CLORURO DE MERCURIO EN DOS ESPECIES ÍCTICAS (*Prochilodus magdalenae* Y *Oreochromis* sp.) [en línea] En: Actual Biol, 2003, Vol 25, No. 79, p.105-111, [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba2003v25n79art2.pdf>

POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67, [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf.

POLLO, Favio E. et.al. Estudio comparativo de la frecuencia de micronúcleos y anomalías nucleares en eritrocitos de tres especies ícticas, [en línea] En: Acta Toxicol. Argent., 2012, Vol 20, No. 2, p. 62-67, [Consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_20_2/pollo.pdf.

PORTO, Jorge; ARAUJO, Cleusa y FELDEBERG, Eliana. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species, [en línea] En: Environmental Research, Marzo, 2005, Vol 97, No. 3, p.287-292 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet:http://www.albuw.ait.ac.th/group_r/mercury/report-3/pdf_link/mutagenic_effect.pdf

PRADIPTA, Sarangi. Micronucleus assay: a sensitive indicator for aquatic pollution [en línea]. En: International Journal of Research in BioSciences. Octubre, 2012, Vol. 1, No. 2, p. 32-37 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://ijrbs.in/download.php?file=32-37.pdf> PRIETO, Francisco; et.al. Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (*Daniorerio*), [en línea] En: Revista AquaTIC, 2006, No. 24, p. 72-85 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en Internet: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_07.pdf

PRIETO, Zulita. et.al. Efecto genotóxico del dicromato de potasio en eritrocitos de sangre periférica de *oreochromis niloticus* (tilapia), [en línea] En: Rev Peru Med Exp Salud Publica, 2008, Vol 25, No.1, p.51-58 [consultado el 12 de Agosto de 2014] Disponible en internet: [http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFECTO_GENOTOXICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_\(TILAPIA\)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83lsATLgIH4Cw&ved=0CDoQFjAH&usg=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ](http://www.google.com.co/url?url=http://www.researchgate.net/publication/237490311_EFECTO_GENOTOXICO_DEL_DICROMATO_DE_POTASIO_EN_ERITROCITOS_DE_SANGRE_PERIFERICA_DE_Oreochromis_niloticus_(TILAPIA)/file/3deec529838ad5c682.pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=mBfAU7G7F83lsATLgIH4Cw&ved=0CDoQFjAH&usg=AFQjCNEVaNj2pUB7nVnXC97wXhaH1OB9OQ)

Recursos hídricos y contaminación del agua, [en línea] Pg. 5, [Consultado en Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.bioygeo.info/pdf/06_Recursos_hidricos_y_contaminacion.pdf

Recursos hídricos y contaminación del agua, [en línea] Pg.5, [Consultado en Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.bioygeo.info/pdf/06_Recursos_hidricos_y_contaminacion.pdf

REIS, MA. et al. Phenanthrene and nitrite effects on juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*, using hepatic biotransformation enzymes, biliary fluorescence, and micronuclei as biomarkers [en línea]. En: Ciencias Marinas, 2009, Vol 35, No. 1, p. 29–40 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v35n1/v35n1a3.pdf>

RICO, Miguel Ángel; SÁNCHEZ, Antonio Y QUESADA, Joel. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2004 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TS/EO/TSO-05.pdf

SALCEDO, Alejandra, et al. Plaguicidas en el río Bogotá: efecto en el pez capitán y en la población que lo consume, [en línea]. Bogotá D.C: Fundación al verde vivo, Universidad del Rosario, Instituto Nacional de Salud, Universidad Nacional de Colombia, 2007. [consultado el 12 de Agosto de 2014.] Disponible en internet: <http://alverde vivo.org/SitioAntiguo/Documentos/PROYECTO%20PESTICIDAS%20PEZ%20CAPITAN.pdf>

SANCHÓN MV, Salud Pública y AP de Salud: Tema 11, La contaminación del agua, [en línea] p.1 [Consultado en Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/salud-publica-y-atencion-primaria-de-salud/otros-recursos-1/lecturas/bloque-iii/Contaminacion%20del%20agua.pdf>]

SARTINI, Vania María, et.al. In situ assessment of the Paraguay River Water, in Brazilian Pantanal, by means of Micronucleus Assay with Fish and chemical analysis, [en línea] En: Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Abril, 2013, Vol 90, No. 4, p.427-433 [Consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=da2cd672-24ed-4cc5-83ce-d3182de6882e%40sessionmgr4005&vid=1&hid=4113>

SEPICI-DINCEL, Aylin. et al. Genotoxicity assessment of carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings by tissue DNA damage and micronucleus test, after environmental exposure to fenitrothion. [en línea] En: Toxicology Mechanisms and Methods. 2011, Vol. 21, No. 5, p. 388-392 [consultado el 27 de Abril de 2015] Disponible en Internet:

<http://ezproxy.uao.edu.co:2086/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=27&sid=eaf7a4bb-d468-4c39-87f7-f541363a6c30%40sessionmgr4002&hid=4105>

STRUNJAK, I; COZ, R y TOPIC, N. Micronucleus occurrence in diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum), [en línea] En: Vet. Med. – Czech, 2003, Vol 48, No.8, p. 215–219 [recuperado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet: <http://vri.cz/docs/vetmed/48-8-215.pdf>

TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 8 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf>

TORRES, Olivia; et.al. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, [en línea] En: Hidrobiológica, 2007, vol. 17, No. 1, p. 75-81 [consultado el 13 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://www.redalyc.org/pdf/578/57811709.pdf>

ZALACAIN, M.; SIERRASESÚMAGA, L. y PATIÑO, A. El ensayo de micronúcleos como medida de inestabilidad genética inducida por agentes genotóxicos, [en línea] En: Anales Sis San Navarra mayo-agosto, 2005 v.28 no. 2 p. 229-232 [consultado el 14 de Agosto de 2014] Disponible en internet:<http://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v28n2/revision2.pdf>]

ZÚÑIGA, Guillermo y GÓMEZ, Belinda. La prueba de micronúcleos [en línea] En: Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana, Enero – Abril, 2006, Vol. XIX, No.1, [consultado **el 14 de Agosto de 2014**] [disponible en internet:<http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol19num1/articulos/micronucleos/index.htm>]

